広島大学水畜産学部紀要

第 2 巻

Journal of the Faculty of Fisheries and Animal Husbandry
Hiroshima University

Vol. 2

1958—1959

Published by

The Faculty of Fisheries and Animal Husbandry
Hiroshima University

Fukuyama, Japan

December, 1959

広 島 大 学 水 畜 学 部 紀 要

Journal of the Faculty of Fisheries and Animal Husbandry, Hiroshima University

第 2 巻 目 次　　　Contents of Vol. 2

第 1 号　　No. 1 (Issued 25th December, 1958)

第 2 号　　No. 2 (Issued 20th December, 1959)

学 部 創 立 10 周 年 記 念 号

The Commemoration Number of the 10th Anniversary of the Establishment of the Faculty

---

広 島 大 学 水 畜 産 学 部 教 官 業 績 目 録
(昭和24年4月—昭和33年12月)

List of Papers by the Staff of the Faculty of Fisheries and Animal Husbandry, Hiroshima University, Published during April, 1949 to December, 1958

日本海下層冷水の性状について

西　田　敬　三*

On the Oceanographic Conditions of the Lower Cold Water in the Japan Sea

Keizō NISIDA*

(Text-figs. 1-4 ; Tables 1-14 ; Appendices A & B)

(I) は　し　が　き

日本海の中層下層を満たす所謂日本海固有の冷水塊の性状については，大和艦，春風丸，蒼鷹丸，鶚丸その他の観測調査によって漸次明らかにされ，水路要報，海洋時報，水産試験場報告等に調査研究報告発表せられ，特に底層水の機構については須田晥次氏の"日本海の底層水に就て"(海洋時報第4巻第1号，1932) の報文あり，又その後の資料を加えて佐藤奎吾氏は"日本海の底層水のポテンシャル温度について"(水路要報増刊号，1950)報告されている．

日本海の北部においては，秋冬の候表面水温の冷却に伴い垂直の対流が盛んに行われ，この冷却水の沈降したものが所謂日本海固有の冷水塊の起源と考えられている。而してこの冷水塊の横の（水平）運動については，未だ詳細には明らかにされていないが，大体深味をめぐって左旋回の流動が行われているものとされている．

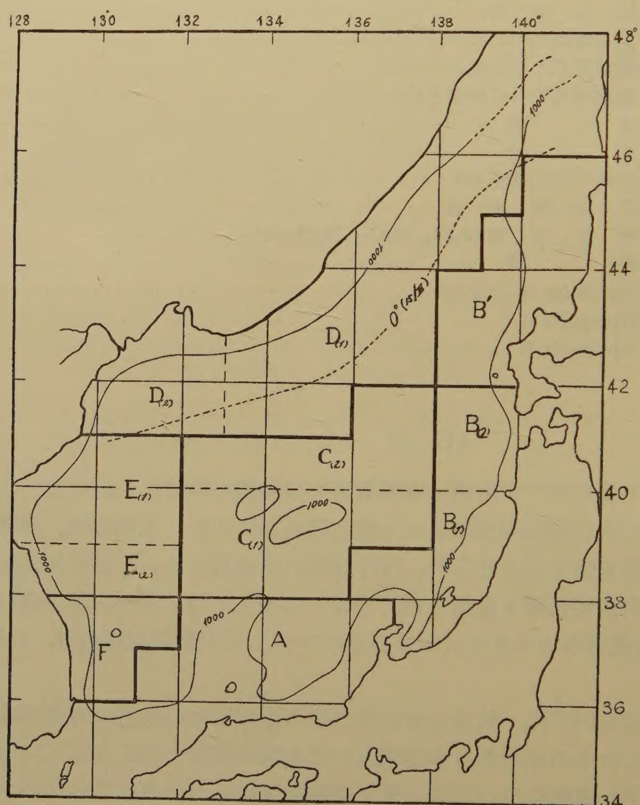
この下層冷水塊の起源や水平の流動を考えると，下層，特に深層水の性状が地区的に——日本海の北部，西部，南部，東部乃至中央部等の各水域毎に——幾分か異なる点があろうか

* 広島大学水畜産学部水産学科（旧職員）

* (Formerly) *Department of Fisheries, Faculty of Fisheries and Animal Husbandry, Hiroshima University, Fukuyama*

と予想されるのであるが，これらの点については，それぞれの調査報告において随所に記述もされ，特に対馬海流系水域とリマン海流系水域との間には若干の相異あることも指摘されている．

日本海の1000m以深の下層の観測資料は，昭和4～5年以来相当蓄積され，なお手元に若干未発表のものもあったので，これら手元に資料を得ることのできたものを摘出し，これを日本海の南部 (A)，東部 (B, B′)，中央部 (C)，北部 (D)，西部 (E並びにF) の海区別に観測値を整理し，各水深別に観測値がどの程度の振れを有するかということ，またこれら各海区に何等かの恒常的な特質を見出すことができるかどうかについて調べてみることとした。各海区の境界線は Text-fig. 1 に示す様にとった．本文"海区"と称するのは，この区分によるA, B, C……等の水域を指すものである．



Text-fig. 1. The Japan Sea. Boundary lines showing the divisions of the sea. 0° (15/III): 0°C line of the surface temperature on the 15th of March, after MAKAROFF.

(II) 調査資料について

本調査資料は昭和4年(1929)から同16年 (1941) の13カ年に亘って春風丸 (神戸海洋気象台), 蒼鷹丸 (農林省水産試験場) 及び鶚丸 (朝鮮総督府水産試験場) によって施行された観測成績であって (附表 Table 1 参照)，それぞれの調査報告は同表 "発表誌名"欄の誌上に記載さ

れている．その多くは5～6月乃至7～8月(及び10～11月)の初夏，夏季及び秋季に観測が実施されたものであって，12月乃至1～3月の冬季に施行されたものは甚だ少く，僅かに鶚丸(Ms 4, 5, 6—日本海西部乃至北西部)の3回分だけである．

各海区，各水深別の観測資料の数は，海区によりまた水深によって甚だしき相異あり，例えば

(イ) 1000m（水温），資料数293の海区別内訳，A: 35, B: 30, B′:15, C: 49, D: 63, E : 71, F:30.

(ロ) 3000m（水温），同12の海区別内訳，B:1, B′: 2, C: 2, D:6. E:1.

(ハ) 水深別（水温）資料数内訳，1000m: 293, 1500m: 65, 2000m: 50, 3000m: 12.

等それぞれ極めて不同である．

なおこの調査においては，各水深共何れも鋼索指針盤から読みとった記録によったものであって，鋼索の傾度又は被圧寒暖計による水深の補正は施してない．従って1000mといっても必ずしも1000m層を観測していないと思われるので，この水深の不正確による誤差も免れ難い憾みがある．特に水温等にあっては，その傾度の稍々大なる比較的上層—500～800m等において誤差が著しいであろうと推察される．

(III) 観測要素の平均値について

上記の如く調査資料が13ヵ年にわたり，観測季節も海区毎に不同があり，且つまた資料の数も各海区著しく不均等であるので，こうした資料の各平均値を以て彼此比較論議することは妥当ではないが，若しそれぞれの海区に稍々恒久的な特徴があれば，数多くの観測の平均値にその徴候が現われるであろうと思われるので各海区別，各水深別に平均値を計算すると共に，観測値の出現頻度を調べ，その振幅がどの程度のものであるかを見ることとした．

(IV) 観測器具並びに測定方法について

観測器具並に測定方法については，それぞれの発表報文（Table I参照）に記述されてあるが，その外海洋時報第2巻第1号，同第2号（塩分），同第3号（燐酸塩），同第4号（酸素）及び海洋観測法（以上海洋気象台），朝鮮水試海洋調査要報第5•6号(*p*H, 栄養塩類)，同試験場報告第4号（酸素），同海洋便覧（1936）等に詳述されてあるので，ここではいちいち詳しく記述することを省略した．尚近年これらの測定方法も漸次改良せられ，又塩分其他化学成分の表わし方も改正されているのであるが，本報告資料は大体その当時一般に行われていた方法によったものであるので，そのまま之を採用した。測定方法及びその精度等については，更に検討論議せらるべきものであると思うが，本報告ではこの点にまでは立ち入らない．

(V) 水　　温

水温の測定は独乙リヒター$^1/_{10}$度目盛(又は$^1/_{20}$度目盛)，英国ネグレチ・ザムブラ$^1/_{10}$度目盛又は$^1/_5$度目盛の転倒寒暖計をナンゼン式転倒採水器に取りつけて行われたものである．従ってその精度は必ずしも一定ではないが，大体±0.01～0.02°C(最大±0.05°C)とされている．

各層測定**水温の最高最低**の開きについて調べてみると，附表Table III(海区別最高最低水

温並にその較差）の通りである．即ち海区毎についてみれば，500m層0.3°C内外，600m層0.2°C程度，800～1000～1500mにあっては0.1°C位と下層に移るに従ってその振れは漸次小となり，2000～3000mでは0.1°C未満である．Table II は1000m以深における観測水温出現頻度である。即ちこの程度の季節的変化又は経年変化があるものとすべきであろう．

Table IV（附表）は各観測船が1回の観測航海中，同一海区内で測定した水温（1000m層の観測）のうちで，最高最低較差の最大なるものを摘出したものである．即ち同一海区内で同一時季において観測点の位置による水温の偏差を示すものである．一二の例外（D, E 海区）はあるが大体において0.1°C未満である。1500m以深になれば更にその偏差僅少で，2000m～3000mにあっては，同一時期の観測では1海区内の水温は大凡そ観測精度の範囲内で（同一水深層では）略々等温とみて差支ないようである．

1500m： 9例の内最大偏差 0.12°C (1), 0.10° (1), 0.05° (2), 0.03° (1), 0.02° (3), 0.00(1).
2000m： 10例の内最大偏差 0.03°C (2), 0.02° (5), 0.01° (2), 0.00 (1).
3000m： 4例の内最大偏差 0.03°C (1), 0.02°(3).

1000m以深の水温は Table IIに示された通りその最低は0.04°C(D_2, E_1海区，1500m)で，最高は3000mまでの深さでは0.24°C（B′海区，3000m）であるが，後に記す第4海洋丸（水路部）昭和23年9月7日の観測で0.03°C(B′海区，北緯42°09′，東経138°31′，983m及び1380m)の記録あり，又3000m以深は更に漸次上昇し最高記録としては鶚丸の観測で次のように0.28°Cというのがある．これは何れも3500m以深のもので海底から20～30mの観測である．

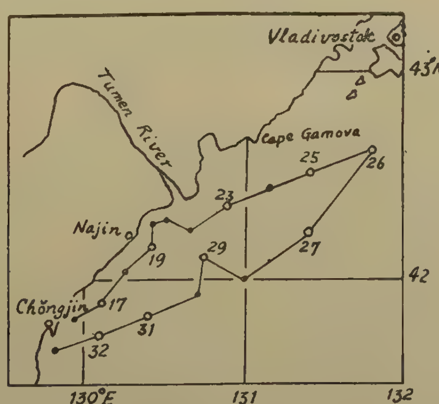
観測番号	北緯	東経	観測年月日	海深	測温水層	水温	（備考）
Ms 2	42° 56′N	136° 49′E	1933. X. 3	3826m	3806m	0.28°C	(2826m: 0.20°C)
〃	43 03	138 07	〃 X. 4	3599	3569	0.28°	(1000m: 0.14°)
Ms 10	41 31	135 42	1935. VII. 6	3596	3576	0.28°	(2576m: 0.20°)
〃	41 50	135 57	〃 VII. 7	3618	3598	0.28°	(2598m: 0.21°)

即ちこれらを加えると，1000m以深の現場水温記録は最高0.28°C，最低0.03°Cということになる。もっとも深海の現場水温は，水圧による温度の断熱上昇により深さと共に昇温するので，0.28°Cといってもそのポテンシャル温度は0.04°～0.02°C位になる筈である．なお鶚丸の測深中の最深部4049m（朝鮮水試海洋調査要報第9号，1942. p.93）における水温は測定を欠いているので不明であるが，その現場温度は0.30～0.32°C位と推定される．

また北鮮から沿海州沿海にあっては，冬季海岸近く表面から下底にいたるまで水温0°C以下となるが，0°C乃至0°C以下の海水が沖合1000mの下層にまで及ぶことがあるかどうかは疑問である．鶚丸昭和10年3月6～8日，清津から浦塩近海の観測に次表（Table 1）のような記録がある．大体同近海水温最低の時季のものと思われるが，沿岸100m位の深さの場所(St.17～26，塩分 33.95‰ 程度の沿岸水であるが，海底は必ずしも低鹹ではない)では，海底まで0°C以下となっているけれども，少しく沖合1000m以上の深さの場所(St.27～32)に出ると全く状態を異にし，表面水も0°Cにまで降下していない。St.32(151m), St.31(600m, 758m)等の下底附近の0°C以下の低冷水は，沿岸から海底に沿うて這い出て来たものであろうと思われる．尚この観測結果からみると，Text-fig. 1の北鮮海域における表面水温の0°C線は，この図(15/III，マカロフ原図)よりも，もっと海岸に近いところ(42°N以北)にあるものとすべきであろうが，表面水温は比較的変化が大であるから，この0°C線も年により可なりの相異はあるであろう．

Table 1. Record of the observation of the N-W part of the Japan Sea carried out on board the Misago-maru on March 6～8, 1935.

	St. No.	17	19	23	25	26	27	29	31	32
Station	Lat.(N) Long.(E)	41°55′ 130°05′	42°09′ 130°25′	42°19′ 130°51′	42°28′ 131°22′	42°33′ 131°41′	42°14′ 131°18′	42°08′ 130°43′	41°52′ 130°20′	41°48′ 130°03′
	Position	沙津湾南東沖合距岸5′	羅津湾東方沖合距岸4′	豆満江口東7′沖距岸5′	ガモバ岬灯台南東8′沖	(浦塩沖)ガモバ岬東方20′	ガモバ岬灯台南方20′沖	豆満江口南方沖合距岸10′	梨津湾南東沖合距岸15′	清津東方沖合距岸7′
	Depth(m)	105	79	74	80	78	>1000	>1000	763	156
Temperature (°C)	0	0.27	0.34	−0.12	−0.57	−0.37	0.28	0.36	1.45	1.41
	10	0.12	0.00	−0.34	−0.80	−0.68	0.28	0.25	1.33	0.37
	25	0.12	−0.02	−0.34	−0.86	−0.54	0.22	0.21	1.32	1.17
	50	0.02	−0.02	−0.12	−0.88	−0.45	0.19	0.16	0.68	0.76
	75	…	−0.11 (74m)	−0.32 (69m)	−1.22	−1.36 (73m)	0.20	0.17	0.56	0.58
	100	−0.13	…	…	…	…	0.20	0.15	0.35	0.11
	150	…	…	…	…	…	0.24	0.16	0.25	−0.19 (151m)
	200	…	…	…	…	…	0.34	0.18	0.26	
	400	…	…	…	…	…	0.43	0.07	0.22	…
	600	…	…	…	…	…	0.19	0.10	−0.03	…
	1000	…	…	…	…	…	0.14	0.05	−0.07 (758m)	…
Salinity (‰)	0	33.95	33.98	33.96	33.95	33.95	33.95	33.95	34.02	34.04
	10	.98	.96	.95	.95	.95	.95	34.02	.00	.04
	25	.98	.96	.95	.95	.95	.98	.02	33.98	.11
	50	.98	.98	34.11	.95	.96	.98	.02	34.07	.07
	75	…	.94 (74m)	.13 (69m)	34.29	34.04 (73m)	34.00	.02	.05	.09
	100	.98	…	…	…	…	.00	.04	.05	…
	150	…	…	…	…	…	.00	.09	.11	.11 (151m)
	200	…	…	…	…	…	33.98	.07	.05	…
	400	…	…	…	…	…	.98	.09	.13	…
	1000	…	…	…	…	…	34.02	.11	.13 (758m)	…



Observation Stations, March 6～8, 1935 (Misago-maru).

各海区別平均水温は TableV (附表) に示す通りである．500m, 600m等比較的上層にあっては，平均値から可なり著しく外れた測定値あり，特に高温の側に偏った値が多い．これらは或は水深測定の不正確から来たものかと思われるので，ここでは特に著しく離れた数個のものは之れを除外して計算した．

各水層，全海区総平均値に対し，各海区別平均水温を比較するに，2～3の例外はあるが大体において A, B, B′ (及びF) 等日本海の南部及び東部海域（日本本土側）は平均値よりも高く，C, D, E 等中央部及び北部並に北西部海域（大陸側）は過低である(附表, Table VI).尚中央海区Cを東鮮暖流海域に属する南部C_1と，リマン海流域とすべき北部 C_2 とに別って計算すると(北緯40°を境とする)，明らかに北部C_2は南部C_1に比し低温で (TableV参照), A, B, C_1を対馬暖流域とし, C_2, D, Eをリマン海流域として各その平均値を求めてみると，500～2000mの各層共前者は後者に比して僅かながら高温である (次表, Table2). このことは従来屡々報告されたところと一致するが，2000m以深にあっては必ずしも然らず，観測資料も少いので充分明らかでないけれども，海区別の相異は殆ど認め難い．

Table 2.　Comparison of the mean temperatures of the Tusima Current zone (T) and the Liman Current area (L).

	500m	600	800	1000	1500	2000
T (A, B, C_1)	$.27_1$ (72)	$.22_0$ (60)	$.16_9$ (15)	$.15_1$ (93)	$.13_6$ (21)	$.15_4$ (7)
L (C_2, D, E)	$.21_1$(110)	$.18_9$(108)	$.15_9$ (36)	$.14_3$(155)	$.11_8$ (38)	$.13_1$ (35)
Dif. (T—L)	$.06_0$	$.03_1$	$.01_0$	$.00_8$	$.01_8$	$.02_3$

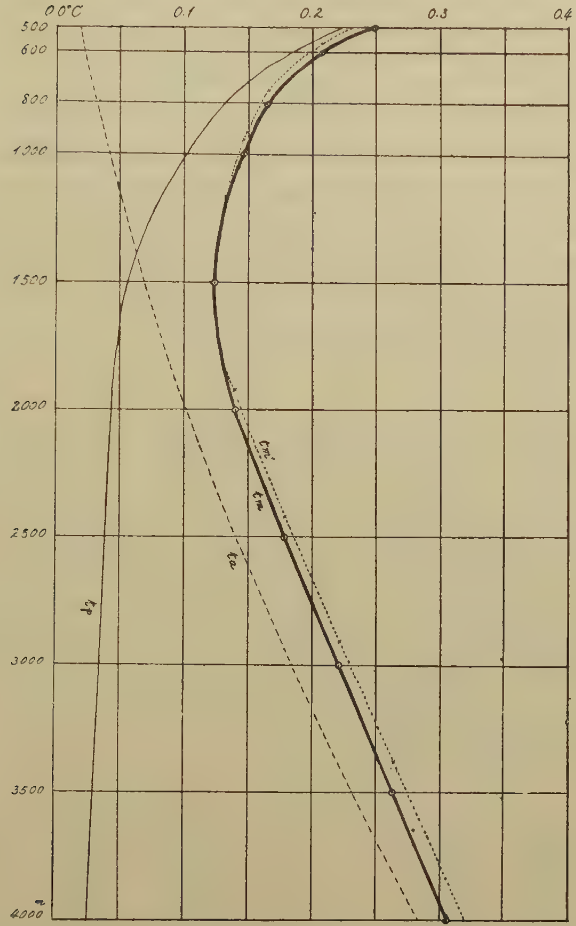
(　) Number of data.

水温垂直分布　上記各層水温観測資料(附表 Table V 平均値)の外，1000m以深の海底観測(同Table VII)その他の資料を斟酌して描いた総平均水温の垂直分布曲線がText-fig. 2 (t_m)であって，500m以深各層の平均水温は次の通りである (Table 3).

Table 3.　Mean temperature in each layer.

	500m	600	800	1000	1500	2000	2500	3000	3500	3750	4000
t_m	0.25_0	$.20_8$	$.16_6$	$.14_8$	$.12_6$	$.14_2$	$.18_0$	$.22_2$	$.26_4$	$.28_5$	$.30_6$
Tab.V	0.25_0	$.20_8$	$.16_6$	$.14_8$	$.12_6$	$.13_5$	…	$.22_1$	…	…	.

F海区(朝鮮東岸南部)は稍々趣を異にし，鬱陵島附近に右旋回の渦流があって，上層の暖流系水が相当下層にまで沈下し来たり，比較的下層まで高温であるが，その他は概ね1400～1500m層附近が最低で，以深漸次水温の上昇を見る．この水温の上昇は上述の通り水圧による現場水温の断熱上昇であって，そのポテンシャル温度は佐藤氏の報告にもあるように (水路要報増刊号，海象編，1950), 海底にいたるまで極めて僅かながら深さと共に降下している．同氏の計算された断熱水温上昇表 (同上)によれば，ここでは (平均水温t_mについてみれば), 1000m以深の各層のポテンシャル温度はそれぞれ 1000m : 0.10_5°C，1500m : $.05_6$°，2000～2500m : $.03_9$°，3000m : $.03_7$°，3500m : $.03_2$°，3750m : $.02_8$°，4000m : $.02_3$° ということになる．(Text-fig. 2参照)



Text-fig. 2.　Vertical distribution of temperature.

tm　Mean temperature, computed (Table 3).
tm'　Mean temperature arranged to the revised depth (Table 4).
tp　Potential temperature (corresponding to *tm*).
ta　Adiabatic temperature heating, 0m-0°C. 34‰.

水深測定の誤差について　上述の如く本調査において水深は，鋼索指針盤の読取深度によったものであるが，これらの指度が実際の水深に対しどの程度の誤差を有するかは，観測時における風浪の大小，海潮流の緩急等によって著しく事情を異にする。従って個々の観測によっていちいち異なるのであるが，被圧寒暖計（又はワイヤーの傾度）によって対照調査されたものに次のような諸例がある．

昭和7年5～6月施行の日本海一斉調査の際，蒼鷹丸で実施された指針盤読取 (D_g) と，被圧寒暖計による計算深度 (D_c) との比較調査においては，$\frac{D_g-D_c}{D_g}\times 100$ の総平均値は2.0%となっている（宇田：水産試験場報告第5号，1934, p. 63)．これを1000m以深のもののみについてみると 2.1₅%程度である．

同じく蒼鷹丸の昭和16年5～6月施行の日本海調査の際行われた例について，その平均値

を調べてみたところでは，1000mの調査資料39では$\frac{D_g-D_c}{D_g}\times 100$は6.2%，その内誤差が特に著しい数個の例を除外したものについてみると 4.8%(D_g-D_c=48m) となる．500m 層のものは鋼索傾度から算出されたもの (D') であるが，資料数41で D_g-D'=32m (6.4%)，誤差の特に著しい数個の例を除いたものについてみると，D_g-D'=26m (5.2%) となる．1500m，2000m，3000m 等の誤差については明らかでないが，ワイヤーの傾きが次第に減じて，下層に及ぶに従って垂直に近ずくものと仮定すれば，指針盤指度に対比する誤差の度合は幾分宛減少して来るであろうと推定される．例えば春風丸で昭和7年8月9日，津軽海峡西90浬沖で行われた実験に次のような例がある (海洋時報，第6巻第1号，p. 8).

D_g (ゲージの読み)	300m	500	1000	2000	3000
D_c (補正水深)	284m	474	948	1901	2873
D_g-D_c	16m	26	52	99	127
$\frac{D_g-D_c}{D_g}\times 100$	5.3%	5.2	5.2	5.0	4.2

尚お春風丸で昭和5年の夏施行された第3回日本海調査の際実験されたところでは (須田: 海洋時報，第3巻第3号，p. 708)，計算深度 D_c の方がゲージの示度 D_g よりも寧ろ大に出ている場合の方が多い (36回の内 $D_g-D_c=0$ の場合4回，同＋の場合9回，－の場合23回)．併し斯うした例は極めて特殊な場合であって，多くはワイヤーの傾斜のために実際の深度よりもゲージの読みの方が大きく現われる．春風丸第4回 (1931年)，第5回 (1932年) 日本海調査における実験成績 (安井: 海洋時報，第6巻第1号，p. 5) の内から，1000m 及び 1000m 以深のもののみを摘出して計算したところによれば次表のようになる．B表は誤差の著しく大なるもの (10%位以上の誤差のあるもの)，及び $D_g-D_c<0$ (1例あり) を除外して計算したものである．(nは資料数，%は$\frac{D_g-D_c}{D_g}\times 100$)

	A			B		
D_g	D_g-D_c	n	%	D_g-D_c	n	%
500m	30.3m	(17)	6.1	△22.7m	(12)	4.5
1000	53.9	(18)	5.4	△41.8	(15)	4.2
1500	90.8	(6)	6.1	△59.8	(4)	4.0
2000	98.0	(2)	4.9	98.0	(2)	4.9
3000	127.0	(1)	4.2	127.0	(1)	4.2

極く大雑把の話ではあるが，上記諸例を勘案して測深の誤差の平均値を，500～1000m において 6～5%，1500～2000m において 5～4%，3000m 附近で 4～3%程度 (何れもゲージの方が大) と仮定すれば，Text-fig.2 の水温垂直分布曲線 t_m から大凡そ次の "水深誤差を補正した場合の水温" t_m' を推定することができる (Table 4，Text-fig. 2 の曲線 t_m')．これは一応参考までに掲出するにとどめておく．

Table 4. Mean temperature before and after the depth is corrected with regard to the error caused by the declination of the wire.

	500m	600	800	1000	1500	2000	2500	3000	3500	3750	4000
t_m	0.°25_0	.20_8	.16_6	.14_8	.12_6	.14_2	.18_0	.22_2	.26_4	.28_5	.30_6
t_m'	0.°23_0	.19_8	.16_3	.14_5	.12_6	.14_7	.18_7	.23_0	.27_5	.29_8	.32_0

t_m: Depth uncorrected.　　t_m': Depth corrected.

附　昭和23年 (1948) 7～9月に施行された水路部第4海洋丸の観測記録 (水路要報増刊

号，海象編，1950）についてみるに，（この観測は対馬北端から大和堆を含み，日本海を斜に縦断した線の東及び南側 -F, A, B, B′ 及び C_1, C_2 の一部，即ち日本本土及び北海道側沿海全般に亘って行われたもので，大陸及び朝鮮側は含まれていないが），水深1000m以上を有する点の観測値だけをとって，之れを上述の海区別に分けた平均水温は次表（Table 5）の通りであって（この数値は指針盤の示度による水深のものではなく，500m, 1000m……等の補正水深に対応する内挿値である），中央海区北部 C_2 において最低で，1000m水温はB_1（0.11_5°C），B_2（.07_3°），B′（.06_6°）と本土沿岸を北するに従って降下している．又個々の観測値についてみるに，最高最低水温の較差（1000m 層）は C_2 海区 0.02°C，その他の海区では 0.04° 乃至 0.09°C の範囲である．この海洋丸の観測値は本報告資料に比し一般に低温（平均して 0.05°～0.10°C 低温）を示しているが，その最高最低の較差は Table IV（附表）と比較してあまりかわりはない．

Table 5. Mean, maximum, minimum and amplitude of water temperature observed by the Kaiyo-maru No. 4 in July- September, 1948.

	500m *				1000m				500m	>1500m
	Mean	Max.	Min.	Ampl.	Mean	Max.	Min.	Ampl.	Mean	Mean
A	.25_0(3)	.32	.13	.19	.08_0(3)	.10	.06	.04	.13 (1)	[C_1,C_2]
B_1	.33_2(6)	.41	.22	.19	.11_5(6)	.14	.10	.04	.13_0 (2)	2000m .13_0(3)
B_2	.19_7(6)	.30	.08	.22	.07_3(6)	.11	.04	.07	.07_0 (2)	2500m
B′	.19_5(6)	.40	.04	.36	.06_6(5)	.08	.03	.05	(1400m) .09_5 (4)	.16_0(2) [C_2]
C_1	.19_2(5)	.28	.15	.13	.09_2(5)	.11	.06	.05	.09_0 (3)	3000m
C_2	.07_5(4)	.10	.05	.05	.05_3(4)	.06	.04	.02	.05_7 (3)	.18(1) 3500m
A～C	.21_2(30)	.41	.04	.37	.08_2(29)	.14	.03	.11	.08_8(11)	.22(1)

* 海深1000m以上の観測点の測定値のみを採る。

Source: The Hydrographic Bulletin, Special Number, Oceanogr. Reports, March, 1950, Maritime Safety Agency, Tokyo.

以上を綜合すれば，日本海 1000m 以深の下層冷水の現場温度は 0.0°C から 0.3_5°C 位の間であって，水面下1300m～1500m附近において最低で，以深漸次断熱的に上昇を来たしているが，そのポテンシャル温度は水深と共に極めて僅かながら降下している．リマン海流域と対馬海流域とを比較すると，500～1500m の各層共一般に前者の方が後者に比して幾分か低温で，また平均水温の最低水域は中央海区の北部 C_2 附近と思われる．もっとも 1500m 以深，2000～3000m の深海にあっては必ずしも然らず，大体において各層共海域別に特異の現象は認め難い．そしてこれら深層における海域的乃至年次的変化の最大は，2000m において 0.1°C, 3000m 以深にあっては 0.05° の程度である．

（VI） 塩　　　分

塩分の検定はクヌーツセン法によったもので，標準海水はデンマーク（Hydrographical Laboratory, Copenhagen）のもの（一部は日本学研調製のもの）である．各検定は厳密に行われ，検定誤差は±0.01～0.02‰を出でない程度とされている．

Table VIII（附表）測定塩分出現頻度表を見るに，下層冷水の塩分の振れは可なり大であって，1000m 以深の各層塩分は大体において 34.00～34.20‰（Cl 18.82～18.93‰）の間で

あるが，なお34.00‰未満の低塩分，34.20‰以上の高塩分も相当出現している．検定の精度が上記の程度とすれば，下層冷水の塩分は場所により或は時期により可なり変化があるものと見なければならない．本調査の最高最低の較差は Table IX（附表）にみる通り，1000m層にあっては0.30‰に達し，1観測線中1海区内で観測点の位置を異にする塩分偏差の最大なるものは 1000m 層において0.10～0.20‰，時に0.20‰以上に及ぶものがある（Table X），即ち同一海域内で同時期にあっても，場所によりこの程度の塩分差があるものとしなければならない．なお前記第4海洋丸の観測（昭和23年7～9月，水路部）についてみると，次表（Table 6）の通り1000m層で1海区内の最高最低塩分の較差は0.05‰内外となっている．

Table 6. Mean, maximum, minimum and amplitude of salinity observed by the Kaiyo-maru No. 4 in July-September, 1948.

	500m				1000m				1500m	> 1500m
	Mean	Max.	Min.	Ampl.	Mean	Max.	Min.	Ampl.	Mean	Mean
A	34.07_{6}(3)	34.09	34.07	0.02	34.10_{3}(3)	34.11	34.09	0.02	34.08 (1)	[C_1,C_2]
B_1	$.06_{3}$(6)	.09	.04	.05	$.07_{0}$(6)	.09	.04	.05	.10 (2)	2000m 34.09_{0}(3)
B_2	$.07_{8}$(5)	.11	.05	.06	$.08_{7}$(6)	.11	.05	.06	.08 (2) (1400m)	2500m
B′	$.08_{7}$(6)	.13	.05	.08	$.09_{0}$(6)	.11	.07	.04	.11 (5)	33.08_{0}(2) [C_2]
C_1	$.08_{0}$(5)	.11	.05	.06	$.09_{0}$(5)	.13	.07	.06	$.07_{7}$(3)	3000m
C_2	$.08_{5}$(4)	.11	.05	.06	$.08_{5}$(4)	.11	.05	.06	$.09_{7}$(3)	34.09 (1) 3500m
A～C	34.07_{8}(29)	.13	.04	0.09	34.08_{6}(30)	.13	.04	0.09	34.08_{7}(11)	34.07 (1)

海区別各層平均塩分は附表 Table XI に示す通りであって，その各層総平均値との偏差は Table XII のようになるが，B_2 海区が各層共過低を示している外，海区別の特徴を見出し難い．これを対馬暖流域（T）とリマン寒流域（L）とにわけてその平均値を比較するに，次表（Table 7）の如く高低一定せず明瞭に差異をつけることができない．

Table 7. Comparison of the mean salinities of the Tusima Current zone (T) and the Liman Current area (L).

	500m	600	800	1000	1500	2000
T(A, B, C_1)	34.07_{0} (59)	$.07_{8}$ (53)	$.11_{7}$(14)	$.07_{8}$ (80)	$.09_{8}$(21)	$.09_{7}$ (9)
L(C_2, D, E)	34.08_{4}(138)	$.09_{8}$(131)	$.10_{1}$(41)	$.09_{7}$(179)	$.09_{9}$(39)	$.07_{4}$(35)
Dif. (T-L)*	0.01_{4}	$.02_{0}$	$.01_{6}$	$.01_{9}$	$.00_{1}$	**$.02_{3}$**

* Positives in gothics and negatives in ordinary type.

なお従来朝鮮東岸海域の塩分が，比較的低いではないかと言われているが，本調査資料にあっても，E及びF海域の 800m，1500m 等において幾分そうした傾向が認められるけれども，資料数の多い1000m（及び500m，600m等）の平均値をみるに必ずしもそのように現われていない．上述の如く，塩分の季節的変化，経年変化が相当大であるため，こうした各海区不均等な資料数の平均値には，そのような特徴が現われないのかも知れない．

塩分の垂直分布　は Table XI（附表）に見る通りである．即ちその平均値は500～2000mの間，略34.08～34.10‰（Cl 18.86_{5}～18.87_{5}‰）で各層著しい相異はなく，2000～3000m乃至 3000m 以深の塩分も，鶚丸の海底観測資料では，平均値 2800m(8)：34.08_{6}（Cl 18.86_{8}）3200m(11)：34.09_{8}‰（Cl 18.87_{5}‰），又第4海洋丸の観測でも上記表（Table 6）に見る通り

34.07～34.09‰ (Cl 18.86～18.87‰) であって大体その範囲を出でず，深海底における増減の有無は直ちに之れを断定することができない．

以上を綜合すれば，日本海の1000m以深の深層水の塩分は，時により又場所によって其の変化稍々大で，その振れは34.00～34.20‰に及び，大体34.05‰ (Cl 18.85‰) 内外の出現が可なり多いが，その平均値は各層共34.08～34.10‰ (Cl 18.86_5～18.87_5‰) 程度であって，深海底において特に増加するようなこともなく，又海域的に恒常的な特徴も見出し難い．

(VII)　水素イオン濃度 *p*H

*p*Hの測定は比色法で，大部分は Mc Clendon 法によったものであるが，一部 Sören-sen—Palitsch 法のものもある．

本調査資料によれば，水面下500mから底までの測定値は 7.6_0～7.9_6の間，即ち最大較差 0.3_6 に及ぶものあるも（附表Table XIII, XIV 参照），大体において各層共7.7_0～7.8_5の範囲内であって，その総平均値は次表の如く各層を通じて略々7.7_7 (7.7_6～7.7_9) である．

*p*H　水深別総平均値

水　深(m)	500	600	800	1000	1500	2000	3000
*p*H(平均)	7.7_9	$.7_7$	$.7_6$	$.7_6$	$.7_7$	$.7_6$	$.7_8$

南部対馬海流域と北部リマン海流域とを比較するに，例えば鶚丸観測の昭和8年10月施行のもの (Ms 2) と，同9年8月施行のもの (Ms 3) につき，南北各6点の平均値をとってみると次表 (Table 8) の通りであって，両者共表面から300～400m附近までにあっては，明らかに南部の方（特に所謂中層水）の値が北部に比し大であるが，500m以深の下層深部にあっては両者の相異を殆ど認めることができない。尚お第4海洋丸の観測成果をみると，次表 (Table 9) のように，200～300mまでの上中層にあっては，南部海域（暖流域）の値は北東部海域のそれに比し大であるが，300～1000mにあっては逆に北東海域の方の値が大となっている．

Table 8. Comparison of the mean values of *p*H in the warm water zone and the cold water area. (Observations Ms 2 and Ms 3)

Depth (m)	Ms 2, Oct. 1933 (Misago-maru)					Ms 3, Aug. 1934 (Misago-maru)				
	(a)S	(b)N	Dif.*	Mean Temp. (°C)		(a′)S	(b′)N	Dif.*	Mean Temp. (°C)	
	(F, A)	(D_1)	(a)−(b)	(a)	(b)	(C_1)	(D_1)	(a′)−(b′)	(a′)	(b′)
0	8.3_2	8.2_4	$\mathbf{0.0_8}$	19.4	15.5	8.3_3	8.2_7	$\mathbf{0.0_6}$	21.2	20.2
10	$.3_3$	$.2_4$	$\mathbf{.0_9}$	19.6	15.6	$.3_2$	$.2_7$	$\mathbf{.0_5}$	20.3	20.1
25	$.3_3$	$.2_2$	$\mathbf{.1_1}$	10.6	13.4	$.3_0$	$.1_9$	$\mathbf{.1_1}$	14.6	7.7
50	$.3_2$	7.9_6	$\mathbf{.3_6}$	19.5	2.4	$.2_3$	7.9_8	$\mathbf{.2_5}$	9.9	2.1
100	$.2_3$	(5) $.9_0$	$\mathbf{.3_3}$	14.1	0.7_6	$.1_2$	$.9_2$	$\mathbf{.2_0}$	6.6	1.2
200	$.1_2$	$.8_4$	$\mathbf{.2_8}$	7.0	0.4_8	7.9_6	$.8_5$	$\mathbf{.1_1}$	2.2	0.6
300	7.9_1	$.8_4$	$\mathbf{.0_7}$	1.6	0.3_6	$.8_6$	$.8_3$	$\mathbf{.0_6}$	0.7_1	0.3_8
400	$.8_3$	$.8_1$	$\mathbf{.0_2}$	0.6_2	0.2_6	$.8_8$	$.8_2$	$\mathbf{.0_6}$	0.4_0	0.2_8
500	…	…	…	…	…	$.8_3$	$.8_2$	$\mathbf{.0_1}$	0.2_4	0.1_7
600	$.7_9$	(5) $.7_8$	$\mathbf{.0_1}$	0.2_7	0.1_7	…	…	…	…	…
1000	$.8_0$	(5) $.8_2$	$.0_2$	0.1_5	0.1_4	$.8_4$	$.8_1$	$\mathbf{.0_3}$	0.1_3	0.1_4
1000～2000	(2) $.8_0$	…	…	0.1_3	…	(5) $.8_3$	…	…	0.1_3	…
2000～3000	(4) $.8_4$	(2) $.8_3$	$\mathbf{.0_1}$	0.1_7	0.2_2	(4) $.8_2$	$.8_3$	$.0_0$	0.1_6	0.2_0
>3000	…	(4) $.8_3$	…	…	$.2_3$	…	(3) $.8_3$	…	…	0.2_4

Ms 2. (a) Tusima Current Zone. Div. A,F. （竹辺～猿山岬間, Lat. 37°附近. 6点平均）
(b) Liman Current Zone. Div. D_1. （雄基～神威岬間, Lat. 43°附近. 〃 ）
Ms 3. (a′) Tōsen Warm Current Zone. Div. C_1. （迎日湾～津軽海峡間縦断. 〃 ）
(b′) Liman Current Zone. Div. D_1. （雄基～神威岬間, Lat. 43°附近. 〃 ）
* Positives in gothics and negatives in ordinary type.

Table 9.　Mean values of *p*H in each division (Kaiyō-maru, 1948).

Depth (m)	Mean for the respective layer (30)	Southern part (South of Lat. 40°N) A (3)	B₁ (6)	C₁ (5)	North-eastern part (North of Lat. 40°N) B₂ (6)	B₁ (6)	C₂ (4)
0	8.3_6	8.3_0	**8.4_0**	**8.4_0**	8.3_5	8.3_5	8.3_0
10	(29) $.3_3$	(2) $.3_0$	**$.4_0$**	**$.3_8$**	$.3_2$	$.3_3$	$.2_3$
20	(29) $.3_2$	(2) $.3_0$	**$.4_0$**	**$.3_8$**	$.3_0$	$.2_8$	$.2_0$
50	$.2_4$	**$.2_7$**	**$.3_8$**	**$.2_8$**	$.1_8$	$.2_3$	$.0_5$
100	$.1_2$	**$.1_3$**	**$.3_2$**	$.0_8$	$.1_0$	$.0_8$	7.9_2
200	7.9_4	7.9_3	**$.0_5$**	7.9_0	7.9_3	7.9_3	$.8_5$
300	$.8_7$	**$.9_0$**	**7.8_8**	$.8_4$	**$.8_8$**	**$.8_8$**	$.8_3$
500	(29) $.7_9$	$.7_3$	$.7_5$	(4) $.7_5$	**$.8_2$**	**$.8_2$**	**$.8_3$**
1000	(29) $.7_4$	$.7_0$	$.7_0$	(4) $.7_3$	**$.7_5$**	**$.7_8$**	**$.8_0$**

Values above the mean for the respective layer are shown in gothics and those below the mean, in ordinary type.　　( ) Number of data.

(VIII) 溶 存 酸 素 量

水中溶存酸素の定量はWINKLER氏の常法（朝鮮水試では同法の操作を簡易にするために中井氏が考案した方法——同水試報告，第4号)によったものである．

日本海の下層の海水が太平洋その他の海洋の下層水に比し，特に多量の酸素を溶存していることは著しい特徴としてあげられているところであって，これはその下層水の成因に関係するものであるが，本調査資料の水深別平均値も下表に見る通りである．即ち 600m 以深3000mにいたるまで $5.8\sim5.9^{CC}/_L$(72～74%) であって，なお3000m以深の海底にいたるまで $5.6^{CC}/_L$(70%) 以上を溶存している．

溶存酸素量各層平均値

水深(m)	500	600	800	1000	1500	2000	3000
$O_2cc/_L$	6.0_4	5.6_1	5.9_1	5.8_3	5.9_3	5.8_1	5.8_3
O_2/O_2' %	75	72	73	72	74	72	72

しかしながら各観測成績についてみると，個々の測定値には著しい振れがあって，別表(附表Table XVI 及び XVIII) にみるように，500m 層の$7.9_4\sim5.1_6{}^{CC}/_L$(較差 2.7_8cc, 36%) は別としても，600m 層6.6～5.2cc (較差1.4cc, 18%)，1000m 層 6.7～5.1cc (1.6cc, 20%)，2000m 層 6.6～5.5cc (1.1cc, 14%)，3000m 層 6.3～5.5cc (0.8cc, 9%) 等であって，即ち600～2000m の各層共最大較差 1.0～1.6cc (14～20%) に及び，同一海区にあっても同様その較差 1cc 以上に及ぶもの多数にあり，又1観測船の同一時期における観測の場合でも，近接した2点の同一水層間にあって可なり著しい相異をみる場合が多い．従って各海区不均等な資料による平均値を以てそれぞれの海区の代表値となし，彼此比較論議するわけにはゆかない．

対馬海流域 (T) とリマン海流域 (L) とを比較すると次表 (Table 10) の通り，500～1500m の間は後者 (L) の方が前者 (T) に比し多量であるが，2000～3000m の深層にあっては必ずしも然らず，——ここでは逆に暖流系水域(T) の方が多いようであるが，些か資料数に不充

分なうらみがある.

Table 10. Comparison of mean values of dissolved oxygen (O_2 $^{cc}/_L$) in the Tusima Current zone (T) and the Liman Current area (L).

	500m	600	800	1000	1500	2000	3000
T (A, B, C_1)	5.9_2 (72)	5.6_7 (58)	5.8_7 (11)	5.7_2 (84)	5.8_9 (18)	5.9_3 (7)	(6.0_8) (1)
L (C_2, D, E)	6.1_1 (97)	5.9_0 (98)	5.9_4 (34)	5.9_0 (122)	5.9_6 (32)	5.8_3 (35)	5.8_3 (10)
Dif.　(T–L)	$-.1_9$	$-.2_3$	$-.0_7$	$-.1_8$	$-.0_7$	$+.1_0$	($+.2_5$)

上下層を通じて比較するために，鶚丸観測の昭和８年施行のもの (Ms 2) と，同９年８月施行のもの (Ms 3) につき，南北各６点宛の平均値をとってみると次表 (Table 11) の通りであって，夏季表面 (0～10m) の例外はあるが全体を通じて北方海域の酸素溶存量は南方に比して多く，殊に北部水温飛躍層に著しく多量なるを特徴とする．尤も日本海中央部以南の暖流域に存在する所謂“中層水”は高温高鹹なるため，その飽和度は比較的大であって，南北を比較すると却って南方が大となることが多い.

Table 11. Comparison of the mean values of dissolved oxygen (O_2 $^{cc}/_L$) and percent saturation of oxygen (O_2/O'_2%) in the southern warm current zone and the northern cold current area. (Observations of Misago-maru, Oct., 1933 and Aug., 1934)

Depth (m)	Ms 2, Oct. 1933 (6点平均)						Ms 3, Aug., 1934 (6点平均)					
	O_2 ($^{cc}/_L$)			O_2/O'_2(%)			O_2($^{cc}/_L$)			O_2/O'_2(%)		
	(a) S (F, A)	(b)N (D_1)	Dif.* (a)-(b)	(a)S (F,A)	(d) N (D_1)	Dif.* (a)-(b)	(a′) S (C_1)	(b′)N (D_1)	Dif.* (a′)-(b′)	(a′)S (C_1)	(b′)N (D_1)	Dif.* (a′)-(b′)
0	5.3_4	6.1_4	0.8_0	98	(5) 106	8	5.4_6	(5)5.3_7	**0.0_9**	103	(5) 100	**3**
10	5.6_5	6.5_8	0.9_3	104	(5) 115	11	5.8_5	5.6_8	**0.1_7**	109	105	**4**
25	5.2_9	(4)7.2_6	1.9_7	97	(3) 123	26	6.6_1	(5)9.1_1	2.5_0	111	(5) 135	24
50	5.3_3	7.3_6	2.0_3	98	97	**1**	6.0_4	7.2_7	1.2_3	93	93	0
100	5.2_2	6.8_3	1.6_1	88	87	**1**	6.3_5	6.8_6	0.5_1	92	88	**4**
200	6.1_0	6.8_6	0.7_6	89	86	**3**	6.5_5	(5)6.6_6	0.1_1	86	(5) 84	**2**
300	(5)6.2_0	6.5_2	0.3_2	(5) 79	81	2	6.2_6	6.1_9	**0.0_7**	79	77	**2**
400	6.0_6	6.3_0	0.2_4	76	(5) 78	2	5.9_3	5.9_9	0.0_6	74	75	1
500	…	…	…	…	…	…	5.7_8	5.9_9	0.2_1	72	74	2
600	5.7_7	(5)6.1_4	0.3_7	72	(5) 76	4	…	…	…	…	…	…
1000	5.9_7	(4)6.3_4	0.3_7	74	(4) 79	5	(4)5.6_8	5.8_3	0.1_5	(4) 71	72	1
1000～2000	(2)5.9_3	…	…	(2) 74	…	…	(5)5.7_3	…	…	(5) 71	…	…
2000～3000	(3)5.6_4	(2)6.0_1	0.3_7	(3) 70	(2) 75	5	(4)5.6_1	(4)5.6_0	**0.0_1**	(4) 70	(4) 70	0
>3000	…	(4)5.9_6	…		(4) 74	…	…	(5)5.6_8	…	…	(5) 71	…

This table and Table 8 are based on the data of the same observation stations.
( ) Number of data. Omitted in the case of 6.
* Positivies in gothics and negatives in ordinary type.

第４海洋丸 (1948) の観測成績は次表 (Table 12) の通りであって，その海区別平均値は 500m 層，1000m 層共 A, B_1, B_2, B′ と日本本土沿海を北するに従って漸増し，又北東部海域

(C_2, B_2, B', D_1) の溶存量は，南部海域 (A, B_1, C_1) に比し上中下層を通じて明らかに多量を示している．もっともここでも個々の観測値の振れは相当に大であって，同一海区内にあっても最大較差 500m 層 1.0cc, 1000m 層 0.75cc となっている．

Table 12. Dissolved oxygen O_2 $^{cc}/_L$ (Kaiyō-maru, June～Aug., 1948)

	Depth (m)	A～D_1 Mean	A (3)	B_1 (5)	C_1 (5)	B_2 (6)	C_2 (4)	B′ (6)	D_1 (1)
Mean for the respective depth in the respective sea-division	0	$\mathbf{5.5_4}$	5.3_3	5.2_2	5.2_4	5.6_7	5.6_8	5.8_8	5.9_3
	20	$\mathbf{6.6_4}$	5.8_9	5.7_0	6.2_4	6.4_0	7.9_0	7.0_0	9.8_3
	50	$\mathbf{7.1_0}$	5.8_4	5.9_6	6.7_4	7.4_0	8.7_7	7.3_1	8.8_2
	100	$\mathbf{7.0_2}$	5.8_0	5.7_1	7.2_6	7.1_6	7.7_4	7.5_0	8.3_6
	200	$\mathbf{7.1_5}$	6.5_0	7.1_3	7.0_5	7.0_0	7.4_0	7.4_9	7.5_2
	300	$\mathbf{6.8_3}$	6.2_4	6.4_5	6.6_7	6.9_4	7.0_5	7.2_9	7.0_3
	500	$\mathbf{6.4_0}$	5.8_0	6.2_0	6.1_7	6.6_6	6.4_6	6.6_9	6.6_9
	1000	$\mathbf{6.1_9}$	5.6_9	5.9_9	6.0_4	6.2_2	6.3_3	6.5_4	6.6_2
	1300～1500	$\mathbf{6.2_9}$	…	(2)6.1_1	(3)6.1_6	(2)6.0_1	(3)6.2_7	(5)6.5_2	6.6_0
Deviation of the above from the mean for sea-divisions A～D_1*	0	(30)	0.2_1	0.3_2	0.3_0	$\mathbf{0.1_3}$	$\mathbf{0.1_4}$	$\mathbf{0.3_4}$	$\mathbf{0.3_9}$
	20	(03)	0.7_5	0.9_4	0.4_0	0.2_4	$\mathbf{1.2_6}$	$\mathbf{0.3_6}$	$\mathbf{3.1_9}$
	50	(30)	1.2_6	1.1_4	0.3_6	$\mathbf{0.3_0}$	$\mathbf{1.6_7}$	$\mathbf{0.2_1}$	$\mathbf{2.7_2}$
	100	(29)	1.2_2	1.3_1	$\mathbf{0.2_4}$	$\mathbf{0.1_4}$	$\mathbf{0.7_2}$	$\mathbf{0.4_8}$	$\mathbf{1.3_4}$
	200	(30)	0.6_5	0.0_3	0.1_0	0.1_5	$\mathbf{0.2_5}$	$\mathbf{0.3_4}$	$\mathbf{0.4_7}$
	300	(30)	0.5_9	0.3_8	0.1_6	$\mathbf{0.1_1}$	$\mathbf{0.2_2}$	$\mathbf{0.4_6}$	$\mathbf{0.2_0}$
	500	(30)	0.6_0	0.2_0	0.2_3	$\mathbf{0.2_6}$	$\mathbf{0.0_6}$	$\mathbf{0.2_9}$	$\mathbf{0.2_9}$
	1000	(30)	0.5_0	0.2_0	0.1_5	$\mathbf{0.0_3}$	$\mathbf{0.1_4}$	$\mathbf{0.3_5}$	$\mathbf{0.4_3}$
	1300～1500	(16)	…	0.1_8	0.1_3	0.2_8	0.0_2	$\mathbf{0.2_3}$	$\mathbf{0.3_1}$
	Mean Depth	1425m	…	1490	1352	1377	1454	1491	1401

* Positives in gothics and negatives in ordinary type.　　( ) Number of data.

(IX) 栄 養 塩 類 (P_2O_5, SiO_2, N_2O_5-N)

栄養塩類については，燐酸塩 (P_2O_5)，珪酸塩 (SiO_2)，硝酸塩 (N_2O_5-N) または亜硝酸塩 (N_2O_3-N) の定量が行われているが，これらの資料は上述の水温，塩分，酸素等の資料に比しその数稍々少く，且つそれぞれの測定値の振れが可なり著しく大であり，殊に季節的変化も相当大きいように思われるので，本調査資料によって海区別の特徴を見出すことは特に困難である．一応参考のため次表 (Table 13)に各水深別の総平均値を掲出するに止めておく．(この平均値は，観測資料のうち測定値の特に疑わしきもの若干を除外して計算した)

Table 13. Mean values of P_2O_5, SiO_2 and N_2O_5-N in each layer.

	500m	600	1000	1500	2000	3000
P_2O_5 $^{mg}/_{m3}$	131(131)	133(131)	140(195)	160 (57)	146 (38)	126 (12)
SiO_2 $^{mg}/_L$	2.97(144)	3.34(144)	3.69(198)	3.58 (52)	3.85 (39)	3.93 (13)
N_2O_5-N $^{mg}/_{m3}$	332 (85)	359(113)	329(140)	364 (41)	314 (36)	361 (13)

下層観測資料の比較的多い Ms 2（鶚丸，昭和8年10月），Ms 3（同，昭和9年8月）及び Ms 7（同，昭和10年6月）観測のうちから，上下層を通じて連続観測の実施されたもののみを摘出して調べてみると，各水深別の総平均値は別表（Table XIX）にみる通りであって，これによって各塩類垂直分布の大勢をうかがうことができる．（尚参考のために第4海洋丸の観測成果の一部を附記しておいたが，その数値は両者大体よく一致している．）

これら上下層の連続観測資料中，1000m以深のものは観測水深がまちまちで，必ずしも下層各水層全部の観測が行われたものではない．垂直分布を正しく判断するためには，上下各層を通じて連続観測の実施されたもののみに依らねばならないので，これらの資料を1000〜2000m, 2000m〜2500m, 2500〜3000m, ＞3000m 等の各層にわかち，それぞれの水深まで連続観測の行われた資料のみを採って之れを各々1群とし，同群の各層平均値によって各要素の垂直分布を調べてみた．例えば附表 Table XIX，Ms 2 の資料は1000〜2000m 層の観測の行われたα群と，2500〜3000m層の観測の行われたβ群との2群にわかち，各群について上中（0〜1000m）各層とその下層観測値とを比較する。Ms 3, Ms 7 の成績も同様に各々数箇の観測群にわかち，各群毎にその平均値について上中下層を比較して，それぞれの垂直分布の状態を見ることとした．ここにはその煩を避け，Ms 2（α, β）以外の他の各群毎の平均値を掲出することを省略したが，その成績並びにその他の資料についてみるに：

(イ) P_2O_5, SiO_2 及びN_2O_5-N の値は，何れも水深を増すに従って増加し1000〜2000m 乃至2500m に及んでいるが，更に深層2500〜3000m（乃至3000m 以深の海底）に至っては一般にあまり増加せず，むしろ幾分か減少の傾向を示している．

(ロ) この深層漸減の傾向は，特に P_2O_5 において明瞭であって，P_2O_5 の値は大体 1000m（乃至 1000〜2000m）において最大であって（平均値 135〜140$^{mg}/_{m3}$ 内外），以深平均値130〜125mg程度に漸減している．

(ハ) SiO_2は1000m層に比し以深深層にあっては可なり増加し来たり，1000m層の3.50$^{mg}/_{L}$ 内外なるに比し深層では 3.70〜4.00mg以上となっているが，多くの場合2000〜2500m 層附近に最大値が現われ，以深下層では矢張り減少の徴が見られる．

(ニ) N_2O_5-N の値も略々同様 2000〜2500m 附近に最も多く（300〜330$^{mg}/_{m3}$），以深明らかに減少の傾向を示している．

Table 14.　Mean values of P_2O_5, SiO_2 and N_2O_5-N in the deep layers.

		P_2O_5 ($^{mg}/_{m3}$)					SiO_2 ($^{mg}/_{L}$)					N_2O_5-N ($^{mg}/_{m3}$)				
		1000m	1000-2000	2000-2500	2500-3000	>3000	1000m	1000-2000	2000-2500	2500-3000	>3000	1000m	1000-2000	2000-2500	2500-3000	>3000
Ms 2	α (7)	(7) 144	(7) 140	—	—	—	3.79	4.36	—	—	—	322	314	—	—	—
	β (10)	(16) 128	—	—	(10) 124	—	3.49	—	—	4.05	—	275	—	—	274	—
	Mean (17)	(17) 134	[2892m] 131* (17)				3.68	4.18*				294	290*			
Ms 3	(16)	(16) 134	(8) 139	(5) 131	(8) 124	(3) 130	3.30	3.58	3.71	3.78	3.91	322	326	362	283	315
			[2256m] 131* (23)					3.71*					332*			
Ms 7	(23)	(16) 130	(6) 135	—	(2) 129	(7) 124	3.55	3.87	—	3.70	3.79	298	313	—	298	302
			[2465m] 129* (15)					3.81*					306*			

* Mean of all data for layers below 1000m.
( ) Number of data.
[ ] mean depth, applicable to SiO_2 and N_2O_5-N as well as P_2O_5.

上表 (Table 14) の下段 (*印) は，1000m以深 (1000mを含まず) の深層観測値の総平均値であるが，これを1000m層の平均値と対比すれば，P_2O_5 の値は小，SiO_2 の値は稍々大，N_2O_5-Nの値は等しいか或は幾分か大という結果になっている. Ms 3 及び Ms 7の上段各層別の数値は，それぞれの群には関係なく，その層の観測値を集めたものの平均値である——1群だけのものもあり，2群を集めたものもある——従って各層の資料数は一定ではない. そして上記の如く各層群を異にするので，この数値を以て垂直分布の増減傾向を断定するわけにはゆかない.

更にまた Ms 2 のうちαは海区A (2点), B′ (2点) 及び F (3点) の対馬暖流域の観測資料であって，βは大陸側 D_1 (8点), B′及び E(各1点) のリマン寒流域に属する1群である. これによって暖流域 (α) と寒流域 (β) とを比較するに(別表 Table XIX 参照), P_2O_5, SiO_2, N_2O_5-N 3要素とも，50～200mの中層にあっては暖流域(α)に比し寒流域(β)の方が多量であるが，300～400m以深の下層にあっては逆に寒流域に少く，暖流域の方が比較的多くなっている. この逆転現象は他の観測資料においても屡々現われ，第4海洋丸の観測成績にも類似の結果が出ているが (Table XIX 参照), これは宇田氏も指摘されているように (水試報, No. 5, p. 135), "寒流域は海水の垂直的混合の盛んなため上下層の差乏しく，上層にては深層の影響を受けること多く，為めに上層に比較的栄養分多く，深層に比較的貧栄養" なる現象を呈するものかも知れない. もっとも上述の如く暖流域，寒流域を問わず P_2O_5 にあっては1000～2000m以深漸減し，SiO_2, N_2O_5-N にあっても両水域共2500～3000m乃至3000m以深の海底に幾分減少の傾向あること，更にまた昭和31年春季蒼鷹丸によって施行された北部日本海の観測調査によれば (松江: 日本海区水産研究所報告，第6号，1957), 大和堆をはさんで占められた St. 30 (南) と St. 34 (北) の両点における Silicate-Si, Phosphate-P の垂直分布をみるに，表面から800mまでの深さにいたるまで両要素共南部 (St. 30) に比し北部 (St.34) の方が著しく多量であるというような事実もあり，これらに関しては更に今後の調査研究にまつこととしたい.

何れにせよこれら栄養塩が下層に沈滞して深海々底に特に多量に存在するだろうという予想に反して，むしろ幾分か減少の傾向を示すことは注目に値すべく，これらは深海底層水の流動 (特に垂直的流動) に関係あるものとすべきであろう.

(X) 結　　語

以上昭和初年から戦前 (昭和4～16年) 13ヵ年に亘って実施された日本海の観測調査のうちから，1000m以上の海深を有する場所の観測資料を摘出し，水面下500m以深の所謂日本海固有の下層冷水の性状 (水温，塩分，pH, 酸素及び栄養塩類) について，海区別に整理して調べたところを記述した. 各要素の平均値としては，それぞれの海区毎の特質として指摘し得るだけの結果は得られなかったが，これは既に屡々記述したように，この調査資料は季節を異にし且つ十数年に亘って行われた観測成績によるものであるので，同時季の連続観測で現われるような海区別の，或は水深別の特徴が，彼此消去されたというようなうらみがある. 従来発表された各観測調査報告に記述されたような結果が出ていないところのあるのは，そのためとすべきであろう. 尚水路部第4海洋丸の観測調査は，前記の如く日本海中央部を通る斜めの縦断線以東及び以南の日本本土側のもので，大陸側を欠くものであるが，比較的広範囲に亘って戦後実施されたものであるので，特に比較対照のため随所に之れを摘出して

掲出しておいた.

結論としては，暖流域と寒流域とに大別してみたところでは,水温,塩分等に2500～3000m以深の深層に稍々不明確なところもあるが，多くの場合若干相異のあること，又各要素とも1000m以深の深層にあっても場所により，又同じ海域でも時期によって可なり著しい観測値の振れがあって，その振幅がどの程度のものであるかは知ることができた．そしてその深層における測定値の振れは，測深の誤差或は測定の精度等についても考慮を払わねばならぬと思われるが，必ずしもそのためのみとは断定することはできない．むしろこれは日本海の下層水が，深層下底にいたるまで垂直的に不安定であって，特に北方水域において上下対流が盛んに行われることに起因するものとすべく，これが日本海深層水の一特徴であることには疑いない．要するに時季が移り，又年を経る間には相当程度の観測値の振れがあるから，年次（時季）を異にする観測成果からその1～2の例を摘出し，その数値を以て同水域の恒常的な代表値として彼此比較論議することは，時に誤った結論を導き出すおそれがあることに留意すべきであろう.

上述の如く日本海の観測調査は，昭和初年以来相当詳細に行われ，尚戦後も上記水路部第4海洋丸の調査（昭和23年）の外，昭和30年（夏),同31年（春）には蒼鷹丸によって北部日本海の観測調査が実施されているが，今後これらの調査の結果を基礎として，更に広く全水域に亘って同一時季の精細な調査が実施され，特に既述したように，北鮮から沿海州に亘る北部沿海の秋～冬季の観測調査が施行されたならば，下層冷水の機構，流動等について一層有力な資料を得ることができるであろう.

尚日本海々底の形状については，その西半域についてはやや精細な調査が行われ（斎藤：朝鮮水試報告，第5号，1937),又大和堆その他各所の諸堆についても可なり詳しく調査されているが（水路部，海洋気象台等),日本海の北東部についてはなお調査の余地がある。又底質に関しても，上記朝鮮水試報告（第5号)，水産試験場報告(第5，7号. 宇田）等の外，大和堆，武蔵堆その他諸堆の底質，特にこれらに発見された礫等について新野氏の研究報告(地学雑誌45，地質学雑誌40, 41, 42, 44，地理学評論12）等があるが，深海々底全域にわたって更に多数の資料が採集調査されたならば，日本海の成因，歴史等についても極めて興味ある事実を発見することができるであろう.

(XI)　SUMMARY

For the purpose of studying the oceanographic conditions of the cold water of the lower layers in the Japan Sea, the data of the observations which were carried out during the years from 1929 to 1941 by the research vessels Sōyō-maru (Fisheries Experimental Station, Tokyo), Syunpū-maru (Marine Observatory, Kobe) and Misago-maru (Fishery Experiment Station, Husan) are taken in this report. The journals in which the original records are published are shown in Table I in Appendix A.

The factors studied in this report are the water temperature, salinity, hydrogen ion concentration, dissolved oxygen and some nutrient salts (P_2O_5, SiO_2 and N_2O_5-N).

To study the vertical distribution of these factors, the mean values are computed for each layer (500 to 3000m below the surface) and for each sea-division. The Japan Sea is divided into seven sea-divisions: A(south), B(east), B′(north-east), C(central), D(north),

E(west) and F(south-west). The boundaries of the divisions are shown in Text-fig. 1.

The number of the data for the 1000m layer amounts to 293 for each factor. For each factor the frequency, mean value, maximum and minimum value and amplitude are shown for separate sea-divisions and the results for different divisions are compared with one another. All these results are shown in Appendix A.

It is recognized that the vertical distributions of most of the studied factors somewhat differ in the northern cold water zone and in the southern warm current area. When the vertical distribution of these factors in one sea-division is compared with that in another sea-division, however, differences are seldom distinct or characteristic.

Appendix A

Table I. Materials taken in this report.

Reserch vessel and observation number	Date of observation (Year, month)	No. of temperature data for 1000m layer								Name of original report	Name of observation or locality observed
		A	B	B′	C	D	E	F	Total		
Sn 1	1929, 7～8	5	…	…	1	…	7	6	19	ⓐ 海洋時報 III(2,3)	日本海第2回調査
Sn 2	30, 7～8	1	…	…	3	3	…	…	7	〃 IV(1)	〃 第3回 〃
Sn 3	31, 7～8	…	8	…	2	…	…	…	10	} 〃 VI(1)	〃 第4回 〃
Sn 3′	32, 8	…	6	…	…	…	…	…	6		〃 第5回 〃
So 1	1932, 5～6	2	2	…	6	8	3	1	22	ⓑ要報50 ⓒ報告5	第1回日本海一斉調査
So 2	33, 10～11	2	5	3	7	12	2	2	33	〃 53 〃 7	第2回 〃
So 3	41, 5～6	3	3	6	12	6	4	…	34	〃 68	対島海峡並日本海調査
Ms 1	1932, 7～8	0	…	…	…	2	16	5	23	ⓓ朝鮮水試海調要報 7	朝鮮東岸
Ms 2	33, 9～10	3	2	3	…	6	2	3	19	〃 8	釜山-清津-小樽-釜山
Ms 3	34, 8	3	1	3	5	11	…	…	23	〃 9	釜山-函館-清津-釜山
Ms 4	〃 2～3	…	…	…	…	…	11	5	16	〃 〃	朝鮮東岸
Ms 5	〃 12	…	…	…	…	…	14	5	19	〃 〃	〃
Ms 6	35, 2～3	…	…	…	…	4	5	2	11	☆本報告附録B	日本海西部 (1)
Ms 7	〃 5～7	7	…	…	7	6	…	…	20	〃	〃 (2)
Ms 8	〃 8	3	…	…	…	…	…	…	3	〃	日本海南西部 (1)
Ms 9	36, 4	4	…	…	…	…	…	…	4	〃	〃 (2)
Ms 10	〃 6～7	2	2	…	2	2	6	1	15	〃	男鹿半島-北鮮-釜山
Ms 11	40, 6	…	1	…	4	3	1	…	9	〃	能登半島-清津
Total	1929～41	35	30	15	49	63	71	30	293		

Sn: Syunpū-maru, (春風丸) the Marine Observatory, Kōbe.
So: Sōyō-maru, (蒼鷹丸) the Fisheries Experimental Station, Tōkyō.
Ms: Misago-maru, (鶚丸) the Fishery Experiment Station, Husan, Tyōsen.
ⓐ Journal of the Marine Observatory, Kōbe
ⓑ Semi-annual Report of the Oceanographical Investigations. (Fish. Exp. St., Tōkyō)
ⓒ Journal of the Fisheries Experimental Station, Tōkyō.
ⓓ Annual Report of Hydrographic Observation, Husan.
☆ Appendix B of this report.

Table II. Frequency of temperature.

Temp. (°C)	1000 m							1500 m							2000 m							3000 m						
	A	B	B′	C	D	E	F	A	B	B′	C	D	E	F	A	B	B′	C	D	E	F	A	B	B′	C	D	E	E
0.04												1	1															
.05					1						1	2																
.06												1								1	1							
.07				1					1		1																	
.08									1																			
.09			1		1	2													2	2								
.10				5	1	1					1																	
.11		1		2	2	3					4	1							1	2								
.12	3	1	2	7	9	8	1		1		1	3	1						1	1								
.13	8	1	2	4	10	8	1	2	3	2	1	4	1	1					3	4	2							
.14	4	4		9	8	15	7	1	2		1	5	3			2	2	2	3	1	1							
.15	8	4	1	6	17	12	6		1		4	2	1	2		2		4	3	1	1							
.16	8	7	2	5	3	13	3	1	1			1	1						1	2					△ 1	△ 1		
.17	2	2	4	6	2	5	6		2					1		1	1	1	1									
.18	2	6		2	6	1	3		1							1												
.19		1	1	2	1		2																			1		
.20			1				1																					
.21		2	1																					1	1	2		
.22		1			1	1																						
.23					1	2																	1		1	3	1	
.24																								1				
No. of data	35	30	15	49	63	71	30	4	13	2	14	20	8	4		6	3	7	15	14	5	—	1	2	2	6	1	—
Mean temp.	$.14_7$	$.16_3$	$.15_6$	$.14_0$	$.14_4$	$.14_5$	15_8	$.14_0$	$.13_6$	$.13_0$	$.11_8$	$.11_8$	$.12_3$	$.15_0$		$.15_5$	$.15_0$	15_0	$.13_3$	$.12_2$	12_2	—	(.23)	$.22_5$	$.22_0$	$.21_7$	(.23)	-
	0.14_8 (293)							0.12_6 (65)							0.13_5 (50)							0.22_1 (12)						

( ) Total number of data.

△ Not included in the calculation of mean temperature.

Table III. Maximum, minimum and amplitude of temperature.

Sea-division	500 m Mean	Max	Min	Amp	600 m Mean	Max	Min	Amp	800 m Mean	Max	Min	Amp	Amplitude* 1000 m	1500 m	2000 m	3000 m
A	$0^{\circ}.26_{2}$ (21)	$0^{\circ}.35$	$0^{\circ}.19$	$0^{\circ}.16$	$0^{\circ}.21_{5}$ (25)	$0^{\circ}.33$	$0^{\circ}.14$	$0^{\circ}.19$	$0^{\circ}.15_{5}$ (4)	$0^{\circ}.17$	$0^{\circ}.14$	$0^{\circ}.03$	$0^{\circ}.06$	$0^{\circ}.03$	…	…
B	$.30_{8}$ (24)	.48	.14	.34	$.26_{1}$ (12)	.37	.18	.19	$.18_{3}$ (8)	.26	.13	.13	.11	.11	0.04	…
B′	$.24_{7}$ (12)	.41	.11	.30	$.22_{3}$ (13)	.30	.14	.16	$.19_{3}$ (3)	.24	.16	.08	.12	…	.03	0.03
C	$.22_{4}$ (43)	.32	.10	.22	$.18_{6}$ (41)	.29	.13	.16	$.13_{9}$ (11)	.20	.09	.11	.12	.10	.03	.02
D	$.19_{5}$ (49)	.40	.07	.33	$.17_{7}$ (38)	.29	.12	.17	$.16_{6}$ (23)	.28	.12	.16	.18	.12	.08	.04
E	$.23_{6}$ (45)	.44	.13	.31	$.20_{7}$ (52)	.34	.09	.25	$.16_{4}$ (5)	.21	.13	.08	.14	.12	.10	…
F	$.39_{3}$ (20)	.64	.23	(.41)	$.25_{6}$ (24)	.36	.19	.17	$.19_{8}$ (4)	.24	.16	.08	.08	.04	.09	…
A〜F	$.25_{5}$ (214)	.64	.07	.57	$.20_{8}$ (205)	.37	.09	.28	$.16_{6}$ (58)	.28	.09	.19	.18	.14	.12	.05

( ) Number of data.

* Based on the data shown in Table II.

Table IV. Maximum amplitude of temperature at 1000m observed in a single series of observation: by research vessels.

Sea-division	Ms Max.	Min.	Ampl.	(n') N	Sn Max.	Min.	Ampl.	(n') N	So Max.	Min.	Ampl.	(n') N
A	0°.16	0°.12	0°.04	(3) 6	0°.16	0°.15	0°.01	(5) 2	0°.18	0°.14	0°.04	(3) 3
B	.16	.14	.02	(2) 4	.21	.15	.06	(6) 2	.22	.18	.04	(3) 3
B′	.17	.09	.08	(3) 2	…	…	…	… …	.21	.15	.06	(6) 2
C_1	.16	.11	.05	(5) 3	.18	.17	.01	(2) 3	.15	.07	.08	(3) 3
C_2	.14	.12	.02	(2) 4	.18	.16	.02	(2) 1	.17	.10	.07	(6) 3
D_1	.18	.12	.06	(6) 2	…	…	…	…	.22	.13	.09	(8) 3
D_2	.18	.05	.13	(4) 6	.15	.14	.01	(3) 1	.17	.12	.05	(6) 3
E_1	.23	.14	.09	(6) 7	.17	.12	.05	(4) 1	.23	.09	.14	(3) 3
E_2	.22	.14	.08	(6) 5	.16	.12	.04	(3) 1	…	…	…	… …
F	.18	.12	.06	(5) 6	.20	.17	.03	(6) 1	.18	.14	.04	(2) 2

N: Number of series of obsetvations carried out in the respective sea-division.

n': Number of the stations occupied in the particular series of observation in which the stated amplitude was observed.

Ms: Misago-maru Sn: Syunpū-maru So: Sōyō-maru

Table V. Mean temperature in each layer.

Sea-division	500 m	600 m	800 m	1000 m	1500 m	2000 m	3000 m	Remarks
A	0°.26_2(21)	0.21_5(25)	0.15_5 (4)	0.14_7(35)	0.14_0 (4)	…	…	
B 1	.31_4(10)	.26_2(10)	.18_3 (8)	.15_3(14)	.12_1 (9)	0.15_5 (4)	(0.23) (1)	South of Lat. 40°N.
B 2	.30_4(14)	.25_5 (2)	…	.17_2(16)	.17_0 (4)	.15_5 (2)	…	North of 〃
B′	.24_7(12)	.22_3(13)	.19_3 (3)	.15_6(15)	13_0 (2)	.15_0 (3)	.22_5 (2)	
C 1	.24_6(27)	.20_5(23)	.15_0 (3)	.14_4(28)	.13_0 (4)	(.15) (1)	…	South of Lat. 40°N.
C 2	*.18_8(16)	*.16_2(18)	*.13_5 (8)	*.13_5(21)	.11_3(10)	.15_0 (6)	.22_0 (2)	North of 〃
D 1	.19_6(17)	.17_2(15)	.15_9(11)	.14_6(25)	.12_9 (9)	.14_2 (5)	.22_5 (4)	East of Long. 133°E.
D 2	.19_5(32)	.18_0(23)	.17_2(12)	.14_2(38)	*.10_8(11)	.12_9(10)	*.20_0 (2)	West of 〃
E 1	.21_1(22)	.20_4(28)	.17_3 (4)	.14_7(42)	.12_9 (7)	.12_4(10)	(.23) (1)	North of Lat. 39°N.
E 2	.26_0(23)	.21_0(24)	(.13) (1)	.14_2(29)	(.12) (1)	*.11_8 (4)	…	South of 〃
F	.39_3(20)	.25_6(24)	.19_8 (4)	.15_8(30)	.15_0 (4)	.12_2 (5)	…	
A～F	$\mathbf{.25}_0$(214)	$\mathbf{.20}_2$(205)	$\mathbf{.16}_6$(58)	$\mathbf{.14}_8$(293)	$\mathbf{.12}_6$(65)	$\mathbf{.13}_5$(50)	$\mathbf{.22}_1$(12)	

( ) Number of data.

* Minimum in respective sea-division.

Table VI. Deviation of the mean temperature for separate sea-division from the mean for all sea-divisions: by depths.

Sea-division	500 m	600m	800 m	1000 m	1500 m	2000 m	3000 m
A	$\mathbf{0.01}_2$	$\mathbf{0.00}_7$	0.01_1	0.00_1	$\mathbf{0.01}_4$	…	…
B 1	$\mathbf{.06}_4$	$\mathbf{.05}_4$	$\mathbf{.01}_7$	$\mathbf{.00}_5$	$.00_5$	$\mathbf{0.02}_0$	$\mathbf{0.00}_9$
B 2	$\mathbf{.05}_4$	$\mathbf{.04}_7$	…	$\mathbf{.02}_5$	$\mathbf{.04}_4$	$\mathbf{.02}_0$	…
B′	$.00_3$	$\mathbf{.01}_5$	$\mathbf{.02}_7$	$\mathbf{.00}_8$	$\mathbf{.00}_4$	$\mathbf{.01}_5$	$\mathbf{.00}_4$
C 1	$.00_4$	$.00_3$	$.01_6$	$.00_4$	$\mathbf{.00}_4$	$\mathbf{.01}_5$	…
C 2	$.06_2$	$.04_6$	$.03_1$	$.01_4$	$.11_1$	$\mathbf{.01}_5$	$.00_1$
D 1	$.05_4$	$.03_6$	$.00_7$	$.00_2$	$\mathbf{.00}_3$	$\mathbf{.00}_7$	$.00_4$
D 1	$.05_5$	$.02_8$	$\mathbf{.00}_6$	$.00_6$	$.01_8$	$.00_6$	$.02_1$
E 1	$.03_9$	$.00_4$	$\mathbf{.00}_7$	$.00_1$	$\mathbf{.00}_3$	$.00_1$	$\mathbf{.00}_9$
E 2	$\mathbf{.01}_0$	$\mathbf{.00}_2$	$.03_6$	$.00_6$	$.00_6$	$.01_7$	…
F	$\mathbf{.14}_3$	$\mathbf{.04}_8$	$\mathbf{.03}_2$	$\mathbf{.01}_0$	$\mathbf{.02}_4$	$.01_3$	…

Positives in gothic and negatives in ordinary type.

Table VII. Results of observations of the intermediate and bottom layers.

Layer	Sea-division	1000～1500m		1500～2000m		2000～2500m		2500～3000m		3000～3500m	
		Mean depth	Mean temp.	Mean depth	Mean temp.	Mean depth	Mean temp.	Mean depth	Mean temp.	Mean depth	Mean temp.
		m		m		m		m		m	
Intermediate layer	A	1340	$0.^\circ 12_5$ (2)	1803	$0.^\circ 13_7$ (3)	2380	$0.^\circ 17$ (1)	…	… (n)	…	…
	B	…	…	1552	.15 (1)	2332	.16 (1)	2692	$0.^\circ 19_5$ (2)	…	…
	B′	…	…	…	…	…	…	2600	.20 (1)	3100	$0^\circ.23$ (1)
	C	1117	$.13_7$ (3)	1748	$.13_7$ (3)	2211	$.16_0$ (5)	2645	$.18_3$ (3)	…	…
	D	1233	$.16_5$ (2)	1626	.12 (1)	2318	$.18_3$ (6)	2723	$.20_1$ (7)	3158	$.23_8$ (4)
	A～D	1213	$.14_1$ (7)	1728	$.13_6$ (8)	2282	$.17_1$ (13)	2691	$.19_6$ (13)	3146	$.23_6$ (5)
Bottom layer	A	1320	$.12_5$ (2)	1728	$.14_0$ (2)	2311	$.17_3$ (3)	…	…		
	B	1268	$.12_5$ (2)	…	…	…	…	2495	.22 (1)	3236	$.24_0$ (3)
	B′	1259	.14 (1)	…	…	…	…	…	…	3268	$.25_3$ (3)
	C	1224	$.12_3$ (3)	…	…	2194	$.15_5$ (2)	2543	.20 (1)	3231	$.23_8$ (4)
	D	1350	$.14_5$ (2)	…	…	…	…	2750	$.21_0$ (3)	(3673)	($.27_8$) (4)
	E	1233	$.12_7$ (9)	1785	$.13_8$ (4)	2107	$.15_6$ (5)	2906	$.21_1$ (8)	3127	$.23_5$ (2)
	F	1329	$.11_3$ (3)	1709	$.13_8$ (4)	2169	$.16_3$ (4)	…	…	…	…
	A～F	1268	$.12_6$ (22)	1743	$.13_8$ (10)	2182	$.16_1$ (14)	2808	$.21_1$ (8)	△ 3224	△ 24_2 (12)

Intermediate layers: Layers over 1000 meters below the surface and 100～1000m above the bottom, the data being taken from observation Ms 3.

Bottom layer: ca. 20m above the bottom. Data from observations Ms 1,2,3,4,7 and 10.

Mean depth and temperature: Computed for the depth ranges indicated in the heading.

△ Computed by excluding sea-division D.

( ) Number of data.

Table VIII. Frequency of salinity.

Salinity	1000m							1500m							2000m							3000m						
(‰)	A	B	B′	C	D	E	F	A	B	B′	C	D	E	F	A	B	B′	C	D	E	F	A	B	B′	C	D	E	F
33.95					1																							
.96～[.97]		1				1	1				1								1									
.98～[.99]		2	1	1	1	3	1					1	1					2	1	1					1	1		
34.00～[01]	1	3	1	1	1	3		2	2			3	1	2					2	1	1					1		
.02～[.03]	3	2		5	1	2			1				1			1				2				1				
.04～.05	11	7		12	6	8	4		1		2	2	1	1					2	2			1					
[.06]～.07	5	7	2	12	10	7	2		3		1	3				1		1	1	3				1		1	1	
[.08]～.09	4	1	3	2	8	2	4			1	2		1			1	2		1		1							
[.10]～.11	4	1	1	7	5	16	3		1	1	3	1	1			1		1	1	1	1							
[.12]～.13	4	4	1	2	10	11	5	3	2			4				2		2	1	1						1		
.14～.15		1	4	2	9	4	5		1				1				1		3	1					1	2		
.16～[.17]			1		2	6	3				1	1		1						2								
.18～[.19]	1		1		4	2													1		2							
.20～[.21]	1			1	2	3	1					1							1									
.22～.23	1	1		2		1	1	1	2		3																	
[.24]～.25				2	1						1	2																
No. of data	35	30	15	49	61	69	30	6	13	2	14	18	7	4	-	6	3	6	15	14	5	-	1	2	2	6	1	-
Mean	$.08_1$	$.06_2$	$.10_3$	$.08_7$	$.10_5$	$.10_0$	$.10_7$	$.10_3$	$.09_5$	$.10_0$	$.12_2$	$.09_8$	$.05_6$	$.05_3$	-	$.09_2$	$.10_7$	$.06_7$	$.08_1$	$.07_0$	$.10_9$	-	.04	$.04_5$	$.06_0$	$.07_7$	.07	-
temp. (c°)	34.09_4 (289)							34.09_6 (64)							34.08_2 (49)							34.06_5 (12)						

[ ] Salinities of no or rare occurrence.

( ) Total number of data.

Table IX. Maximum, minimum and amplitude of salinity.

Sea-division	500 m				600 m				800 m				Amplitude*			
	Mean	Max.	Min.	Ampl.	Mean	Max.	Min.	Ampl.	Mean	Max.	Min.	Ampl.	1000m	1500m	2000m	3000m
A	34.10_9 (21)	.25	.02	0.23	34.07_0 (26)	.23	.00	0.23	34.06_0 (3)	.13	.00	0.13	0.23	0.23	…	…
B	$.04_1$ (25)	.16	−.07	.23	$.10_6$ (14)	.20	.04	.16	$.12_4$ (8)	.16	.05	.11	.27	.23	0.10	…
B′	$.06_2$ (13)	.15	.00	.15	$.06_2$ (13)	.18	.00	.18	$.15_7$ (3)	.22	.11	.11	.20	.02	.05	0.05
C	$.06_9$ (42)	.16	−.05	.21	$.09_2$ (40)	.25	−.02	.27	$.12_1$ (11)	.25	.05	.20	.27	.29	.15	.16
D	$.09_2$ (50)	.22	−.03	.25	$.10_2$ (38)	.23	−.02	.25	$.09_6$ (24)	.23	−.04	.27	.30	.27	.24	.16
E	$.08_8$ (46)	.23	−.07	.30	$.09_9$ (53)	.23	−.04	.27	$.08_5$ (6)	.14	−.02	.16	.26	.16	.18	…
F	.084 (20)	.18	−.04	.22	$.10_3$ (26)	.22	−.04	.26	$.07_8$ (4)	.13	−.04	.17	.26	.16	.18	…
A～F	$.08_0$ (217)	.25	−.07	.32	$.09_4$ (210)	.25	−.04	.29	$.10_3$ (59)	.25	−.04	.29	.30	.29	.24	.16
(Cl‰)	(18.86_5)	(18.95_8)	(18.78)	(0.18)	(18.87_2)	(18.95_8)	(18.80)	(0.16)	(18.89_2)	(18.95_8)	(18.80)	(0.16)	(0.17)	(.16)	(.13)	(.09)

In the columns for maximum and minimum, the figure 34 is omitted and −.05, etc. signifies 33.95, etc.
( ) Number of data.
* Based on the data shown in Table Ⅷ.

Table X. Maximum amplitude of the salinity at 1000m observed in a single series of the observation: by research vessels.

Sea-division	Ms				Sn				So			
	Max.	Min.	Ampl.	(n’) N	Max.	Min.	Ampl.	(n’) N	Max.	Min.	Ampl.	(n’) N
A	34.20	34.02	0.18	(3) 6	34.13	34.04	0.09	(5) 2	34.23	34.13	0.10	(2) 3
B	.07	.05	.02	(2) 4	.05	−.04*	.09	(8) 2	.23	.13	.10	(3) 3
B′	.14	.09	.05	(3) 2	…	…	…	…	.15	−.02*	.17	(6) 2
C	.14	.07	.07	(5) 3	.11	.05	.06	(3) 3	.23	.02	.21	(7) 3
D	.25	.02	.23	(6) 7	.11	.07	.04	(3) 1	.18	−.05*	.23	(8) 3
E	.22	−.02*	.24	(15) 7	.14	−.02*	.16	(7) 1	.20	.11	.09	(2) 3
F	.20	.07	.13	(5) 6	.11	−.04*	.15	(6) 1	.16	.14	.02	(2) 2

N, n’, Ms, Sn, So: See the foot-notes of Table Ⅳ.
* Deviation from 34.00. For example, −.02 stands for 33.98.

Table XI. Mean salinity in each layer.

Sea-division	500m	600	800	1000	1500	2000	3000
A	34.10_9 (21)	34.07_0 (25)	34.06_0 (3)	34.08_1 (35)	34.10_3 (6)	–	–
B 1	$.06_2$ (10)	$.12_4$ (11)	$.12_4$ (8)	$.08_9$ (14)	$.11_6$ (9)	34.11_5 (4)	34.04 (1)
B 2	$.02_7$ (15)	$.04_3$ (3)	–	$.03_9$ (16)	$.05_0$ (4)	$.04_5$ (2)	–
B′	$.06_2$ (13)	$.06_2$ (13)	$.15_7$ (3)	$.10_3$ (15)	$.10_0$ (2)	$.10_7$ (3)	$.04_5$ (2)
C 1	$.06_8$ (26)	$.10_1$ (22)	$.11_7$ (3)	$.07_5$ (28)	$.12_0$ (4)	–	–
C 2	$.07_1$ (16)	$.08_1$ (18)	$.12_3$ (8)	$.09_7$ (21)	$.12_3$ (10)	$.06_7$ (6)	$.06_0$ (2)
D 1	$.08_1$ (17)	$.12_6$ (14)	$.10_6$ (12)	$.11_9$ (23)	$.09_1$ (7)	$.05_8$ (5)	$.04_8$ (4)
D 2	$.09_8$ (33)	$.08_3$ (24)	$.08_7$ (12)	$.09_7$ (38)	$.10_2$ (11)	$.09_3$ (10)	$.13_5$ (2)
E 1	$.08_8$ (23)	$.10_2$ (29)	$.10_6$ (5)	$.10_2$ (42)	$.06_2$ (6)	$.05_3$ (10)	.07 (1)
E 2	$.08_7$ (23)	$.09_5$ (24)	33.98 (1)	$.09_5$ (27)	.02 (1)	$.11_3$ (4)	–
F	$.08_4$ (20)	$.10_3$ (26)	$.07_8$ (4)	$.10_7$ (30)	$.05_3$ (4)	$.10_9$ (5)	–
A～F	$.08_0$(217)	$.09_4$(210)	$.10_3$ (59)	$.09_4$(289)	$.09_6$ (64)	$.08_2$ (49)	$.06_5$ (12)

Table XII. Deviation of the mean salinity for separate sea-division from the mean for all sea-divisions: by depths

Sea-division	500m	600	800	1000	1500	2000	3000
A	**$.02_9$**	$.02_4$	$.04_3$	$.01_3$	**$.00_7$**	–	–
B 1	$.01_8$	**$.03_0$**	**$.02_1$**	$.00_5$	**$.02_0$**	**$.03_3$**	$.02_5$
B 2	$.05_3$	$.05_1$	–	$.05_5$	$.04_6$	$.03_7$	–
B′	$.01_8$	$.03_2$	**$.05_4$**	**$.00_9$**	**$.00_4$**	**$.02_5$**	$.02_0$
C 1	$.01_2$	**$.00_7$**	**$.01_4$**	$.01_9$	**$.02_4$**	–	–
C 2	$.00_9$	$.01_3$	**$.02_0$**	**$.00_3$**	**$.02_7$**	$.01_5$	$.00_5$
D 1	**$.00_1$**	**$.03_2$**	**$.00_3$**	**$.02_5$**	$.00_5$	$.02_4$	$.01_7$
D 2	**$.01_8$**	$.01_1$	$.01_6$	**$.00_3$**	**$.00_6$**	**$.01_1$**	**$.07_0$**
E 1	**$.00_8$**	**$.00_8$**	**$.00_3$**	**$.00_8$**	$.03_4$	$.02_9$	**$.00_5$**
E 2	**$.00_7$**	**$.00_1$**	$.12_3$	**$.00_1$**	$.07_6$	**$.03_1$**	–
F	**$.00_4$**	**$.00_9$**	$.02_5$	**$.01_3$**	$.04_3$	**$.02_7$**	–
Mean for A～F (Cl‰)	34.08_0 (18.86_5)	34.09_4 (18.87_2)	34.10_3 (18.89_2)	34.09_4 (18.87_2)	34.09_6 (18.87_4)	34.08_2 (18.86_6)	34.06_5 (18.85_6)

Deviations are printed in gothics when positive, and in ordinary type when negative.

Table XIII. Frequency of *p*H

Depth	1000 m							1500 m							2000 m							3000 m						
Sea-division	A	B	B′	C	D	E	F	A	B	B′	C	D	E	F	A	B	B′	C	D	E	F	A	B	B′	C	D	E	F
$7.6_5(7.6_3\sim.6_7)$	1	6		2		2			1		1					1												
$7.7_0(7.6_8\sim.7_2)$	4	4		12	8	23	6	1	4		3	5	3				1	2	2	2				1		1		
$7.7_5(7.7_3\sim.7_7)$	10	6	7	16	12	20	11	2	2	1	2	1	1	2				2	4	2	4				1	2		
$7.8_0(7.7_8\sim.8_2)$	19	5	4	8	28	19	10	1	1			2				1			2	7			1					
$7.8_5(7.8_3\sim.8_7)$		5	1	4	4	4	1	1			2	3	1			1		2	2	1					1			
$7.9_0(7.8_8\sim.9_2)$						1							1													1		
$7.9_5(7.9_3\sim.9_7)$				2	3						2	1																
No. of data	34	26	12	44	55	69	28	5	8	1	10	12	6	2		3	1	6	10	12	4		1	1	2	4		
Mean	7.7_7	$.7_4$	$.7_8$	$.7_6$	$.7_9$	$.7_5$	$.7_6$	7.7_8	$.7_2$	$.7_3$	$.7_8$	$.7_8$	$.7_7$	$.7_5$		7.7_6	$.7_0$	$.7_6$	$.7_7$	$.7_7$	$.7_5$		7.8_2	$.7_0$	$.7_9$	$.7_8$		
	7.7_6 (268)							7.7_7 (44)							7.7_6 (36)							7.7_8 (8)						

Table XIV. Maximum, minimum and mean values of *p*H. (500~800m)

	500 m							600 m							800 m						
	A	B	B′	C	D	E	F	A	B	B′	C	D	E	F	A	B	B′	C	D	E	F
Max.	7.8_4	$.8_6$	$.8_5$	$.9_4$	$.9_4$	$.9_6$	$.9_4$	$.8_4$	$.8_5$	$.8_0$	$.8_8$	$.8_5$	$.8_5$	$.8_4$	$.7_5$	$.7_5$	–	$.8_0$	$.8_5$	$.8_2$	–
Min.	$.7_0$	$.6_0$	$.7_5$	$.6_4$	$.7_0$	$.7_0$	$.7_0$	$.7_0$	$.7_0$	$.7_5$	$.7_0$	$.7_0$	$.6_2$	$.6_8$	$.7_0$	$.7_0$	–	$.7_0$	$.7_0$	$.7_2$	–
No. of data	(20)	(22)	(11)	(40)	(39)	(45)	(19)	(25)	(9)	(12)	(35)	(33)	(50)	(23)	(4)	(3)	(1)	(7)	(16)	(4)	(1)
Mean	$.7_8$	$.7_5$	$.8_0$	$.7_9$	$.8_0$	$.7_8$	$.8_0$	$.7_6$	$.7_8$	$.7_8$	$.7_8$	$.7_7$	$.7_5$	$.7_7$	$.7_4$	$.7_2$	$.7_5$	$.7_3$	$.7_7$	$.7_7$	$.7_6$
	7.7_9 (196)							7.7_7 (189)							7.7_6 (36)						

Table XV. Mean values of pH in each layer

Sea-division	500m	600	800	1000	1500	2000	3000
A	7.7_8 (20)	$.7_6$ (25)	$.7_4$ (4)	**$.7_7$** (34)	**$.7_8$** (5)	—	—
B 1	$.6_9$ (7)	$.7_5$ (6)	$.7_2$ (3)	$.7_2$ (10)	$.6_9$ (4)	**$.8_0$** (1)	**$.8_2$** (1)
B 2	$.7_8$ (15)	**$.8_4$** (3)	—	*$.7_6$* (16)	$.7_5$ (4)	$.7_4$ (2)	—
B′	**$.8_0$** (11)	**$.7_8$** (12)	$.7_5$ (1)	**$.7_8$** (12)	$.7_3$ (1)	$.7_0$ (1)	$.7_0$ (1)
C 1	$.7_8$ (25)	**$.7_8$** (19)	$.7_5$ (1)	$.7_5$ (25)	$.7_4$ (3)	**$.8_5$** (1)	—
C 2	*$.7_9$* (15)	*$.7_7$* (16)	$.7_3$ (6)	**$.7_7$** (19)	**$.8_0$** (7)	$.7_5$ (5)	**$.7_9$** (2)
D 1	*$.7_9$* (14)	*$.7_7$* (12)	*$.7_6$* (8)	**$.7_8$** (20)	$.7_3$ (5)	$.7_5$ (2)	$.7_5$ (2)
D 2	**$.8_1$** (25)	**$.7_8$** (21)	**$.7_9$** (8)	**$.7_9$** (35)	**$.8_1$** (7)	**$.7_7$** (8)	**$.8_0$** (2)
E 1	*$.7_9$* (22)	$.7_5$ (26)	**$.7_8$** (3)	*$.7_6$* (40)	$.7_5$ (5)	**$.7_7$** (8)	—
E 2	$.7_7$ (23)	$.7_5$ (24)	$.7_5$ (1)	$.7_5$ (29)	**$.9_0$** (1)	**$.7_7$** (4)	—
F	**$.8_0$** (19)	*$.7_7$* (23)	*$.7_6$* (1)	*$.7_6$* (28)	$.7_5$ (2)	$.7_5$ (4)	—
A～F	$.7_9$(196)	$.7_7$(187)	$.7_6$ (36)	$.7_6$(268)	$.7_7$ (44)	$.7_6$ (36)	$.7_8$ (8)

Values in gothics are higher, and those in ordinary type are lower than the mean for all sea-divisions, A～F, to which the values in italics are equal.

Table XVI. Frequency of the concentration of dissolved oxygen.

O_2 (cc/L)	1000 m A	B	B′	C	D	E	F	1500 m A	B	B′	C	D	E	F	2000 m A	B	B′	C	D	E	F	3000 m A	B	B′	C	D	E	F
5.1〜.2	1																											
5.3		1																										
.4		1					1					1																
.5	8	3		4	6			1			1	1	1	1				2			2				1			
.6	12	5	1	13	5	7	4	1			2	2	1				1		2	4	1							
.7	6	3	6	12	5	4	7	1	2	1	1		1			2	1		5	4	2			2	2	4		
.8	1	2	1	4	12	12	6			1	2	4		1			1	3	2	2								
.9	2	3	3	4	8	9	3	2	1					1		1				2						1		
6.0		2	2	2	6	5			4		1	2							2									
.1		4		1	2	2			2		1	2	2					1	1				1					
.2					3	3			1			1				1			1	1								
.3	1				3	2					1	3				1		1	2							2		
.4	1	1		3	1	1	1						2			1												
.5		1			1	5						1																
.6			1	1			2				1									1								
.7					1																							
.8						1							1	1														
.9																												
>7.0					(7.0 8.1																							
n	32	26	14	44	53	51	24	5	10	2	10	17	8	4	–	6	3	7	15	14	5	–	1	2	3	7	–	–
Mean cc/L	5.65	.80	.83	.77	.87	.95	.83	5.71	.97	.74	.89	.93	6.08	5.98	–	6.00	5.69	.82	.85	.80	.59	–	6.08	5.71	.64	.90	–	–
Mean %	70	72	72	72	73	74	72	71	74	71	73	74	75	75	–	75	71	72	73	72	69	–	75	71	70	73	–	–
	5.8_3 (244) 72%							5.9_3 (56) 74%							5.8_1 (50) 72%							5.8_3 (13) 72%						

Table XVII. Mean concentration of the dissolved oxygen (cc/L).

Sea-division	500m	600	800	1000	1500	2000	3000
A	5.78 (21)	5.60 (25)	5.70 (3)	5.65 (32)	5.71 (5)	—	—
B1	5.83 (9)	.69 (11)	.96 (5)	.83 (12)	.93 (6)	5.99 (4)	(6.08) (1)
B2	6.16 (15)	.65 (2)	—	.77 (14)	6.02 (4)	6.03 (2)	—
B′	6.10 (12)	.89 (13)	.84 (3)	.83 (14)	5.74 (2)	5.69 (3)	5.71 (2)
C1	5.92 (27)	.75 (20)	.87 (3)	.72 (26)	.94 (3)	(.53) (1)	—
C2	6.09 (14)	.84 (14)	.91 (7)	.84 (18)	.87 (7)	.87 (6)	.64 (3)
D1	6.03 (17)	.91 (15)	.90 (11)	.93 (22)	.87 (9)	.81 (5)	.74 (4)
D2	6.11 (27)	.88 (23)	.97 (10)	.83 (31)	6.00 (8)	.87 (10)	6.12 (3)
E1	6.27 (19)	.97 (25)	6.12 (5)	.99 (29)	.15 (7)	.85 (10)	—
E2	6.04 (20)	.86 (21)	(5.47) (1)	.89 (22)	(5.55) (1)	.67 (4)	—
F	6.12 (18)	.81 (20)	5.81 (4)	.83 (24)	5.98 (4)	.59 (5)	—
A～F (Saturat.%)	6.04 (199) (75%)	5.81 (189) (72%)	5.91 (52) (73%)	5.83 (244) (72%)	5.93 (56) (74%)	5.81 (50) (72%)	5.83 (13) (72%)

Table XVIII. Maximum, minimum and amplitude of the concentration of dissolved oxygen.

Sea-division		500m			800			1000			1500			2000			3000		
		Max.	Min.	Amp.	Max.	Min.	Amp.	Max.	Min.	Amp.	Max.	Min.	Amp.	Max.	Min.	Amp.	Max.	Min.	Amp.
A		6.29	5.58	.71	5.90	5.45	.45	6.40	5.11	1.29	5.93	5.45	.48	—	—	—	—	—	—
B_1		.30	.16	1.14	6.06	.85	.21	.52	.48	1.04	6.08	.67	.41	6.35	5.67	.68	—	—	—
B_2		.46	.57	.89	—	—	—	.44	.28	1.16	.16	.86	.30	.15	.90	.25	—	—	—
B′		.35	.63	.72	5.90	.77	.13	.62	.59	1.03	5.75	.72	.03	5.75	.62	.13	5.72	5.69	.03
C_1		.88	.56	1.32	6.02	.67	.35	.58	.50	1.08	6.62	.53	1.09	—	—	—	—	—	—
C_2		.57	.77	.80	.37	.69	.68	.38	.53	.85	.29	.56	.73	6.30	.53	.77	5.72	5.53	.19
D_1		.48	.51	.97	.60	.36	1.24	.66	.47	1.19	.24	.42	.82	.02	.72	.30	5.86	5.67	.19
D_2		7.17	.58	1.59	.40	.48	.92	.41	.48	.93	.47	.48	.99	.31	.59	.72	6.32	5.73	.58
E_1		7.94	.61	2.33	.73	.63	1.10	.75	.60	1.15	.66	.53	1.13	.58	.55	1.03	—	—	—
E_2		6.63	.63	1.00	|	—	—	.45	.60	.85	—	—	—	5.85	.62	.23	—	—	—
F		7.39	.28	2.11	.10	.50	.60	.61	.42	1.19	.75	.47	1.28	.70	.50	.20	—	-	—
A～F	cc/L	7.94	5.16	2.78	6.73	5.36	1.37	6.75	5.11	1.64	6.75	5.42	1.33	6.58	5.50	1.08	6.32	5.53	.79
	%	100	64	36	84	66	18	84	64	20	84	67	17	82	68	14	78	69	9

Table XIXa. Mean values of phosphate, P_2O_5 mg/m³

Station		0m	25	50	100	200	300	400	500	600	1000	1000 ～2000	2000 ～2500	2500 ～3000	>3000
Ms 2	α (7)	**24**	**22**	24	45	78	**126**	**146**	…	**147**	**144**	**140**	…	…	…
	β (10)	12	19	**70**	**96**	**110**	114	120	…	129	128	…	…	124	…
	Mean(17)	17	20	51	75	97	119	130	…	136	134	…	131	…	…
Ms 3	(16)	19	50	75	93	108	120	127	134	…	134	139(8)	131(5)	124(8)	130(3)
Ms 7	(23)	18	28	59	76	100	113	122	127	128	130	135(6)	…	129(2)	124(7)
K	St. 49	8	9	24	52	93	119	…	130	…	130	125	124	○ 138	…
	〃 55	8	13	40	68	**112**	**136**	…	**142**	…	**144**	**151**	**142**	△ **144**	◎ 121
	〃 82	**23**	**25**	**81**	**83**	85	**131**	…	127	…	129	133	(132)	▲ 131	☆ 125
	Mean (3)	13	(20m)16	48	68	97	129	…	133	…	134	136	(133)	138	…
	St. 49	37°34.1′N, 135°06.5′E. (経ケ岬北方約110浬) Depth, 2950m (Adiv.). Aug., 1948. (○2554m)													
	〃 55	38°42.2′N, 136°06.0′E. (大和堆南東方約60浬) 〃 2720m (C_1 〃). 〃 (△2498m)													
	〃 82	41°18.0′N, 137°16.2 E. (津軽海峡西方沖70浬) 〃 3680m (C_2 〃). 〃 (▲2492m. ◎2962m. ☆3462m)													

α: Southern warm current zone—A (2 stations), B_1(2), F(3). β: Northern cold water zone—D_1 (8 stations), E(1), B_1(1).
Ms 2: Oct., 1933. Ms 3: Aug.,1934. Ms 7: June, 1935.
In the lines of α,β and Sts. 49, 55 and 82, gothics show the values larger, and the ordinany types show the values smaller than the mean.
( ): Number of data.
K: Observations of the Kaiyō-maru No.4, the Japanese Hydrographic Office.

Table XIXb. Mean values of silicate, SiO_2 mg/L.

Station		0m	25	50	100	200	300	400	500	600	1000	1000 ~2000	2000 ~2500	2500 ~3000	>3000
Ms 2	α (7)	**.52**	**.46**	.44	.81	1.31	2.19	**2.79**	…	**3.51**	**3.79**	**4.36**	…	…	…
	β (10)	.46	.40	**1.07**	**1.80**	**2.07**	**2.29**	2.56	…	2.95	3.49	…	…	4.05	…
	Mean (17)	.48	.42	.81	1.39	1.75	2.25	2.65	…	3.18	3.68	…	4.18	…	…
Ms 3 (16)		.84	1.02	1.67	1.71	2.16	2.54	2.86	2.96	…	3.30	3.58$_{(8)}$	3.71$_{(5)}$	3.78$_{(8)}$	3.91$_{(3)}$
Ms 7 (23)		.58	.73	1.04	1.48	2.07	2.45	2.75	2.96	3.21	3.55	3.87$_{(6)}$	…	3.70$_{(2)}$	3.79$_{(7)}$
K	St. 49	**.56**	**.52**	.61	.89	1.70	**2.60**	…	**3.00**	…	**4.20**	**4.90**	**4.80**	○**4.50**	…
	〃 55	.39	**.50**	**.92**	1.24	1.65	1.80	…	**3.00**	…	**3.70**	**4.00**	**4.40**	△**4.30**	…
	〃 82	.42	.38	**.94**	**1.60**	**2.20**	**2.28**	…	2.80	…	2.84	2.88	3.40	▲3.36	◎3.72 ☆3.12
	Mean (3)	.46	(20m).47	.82	1.24	1.85	2.23	…	2.99	…	3.58	3.93	4.20	4.05	…

Table XIXc. Mean values of nitrate- nitrogen, N_2O_5-N mg/m^3.

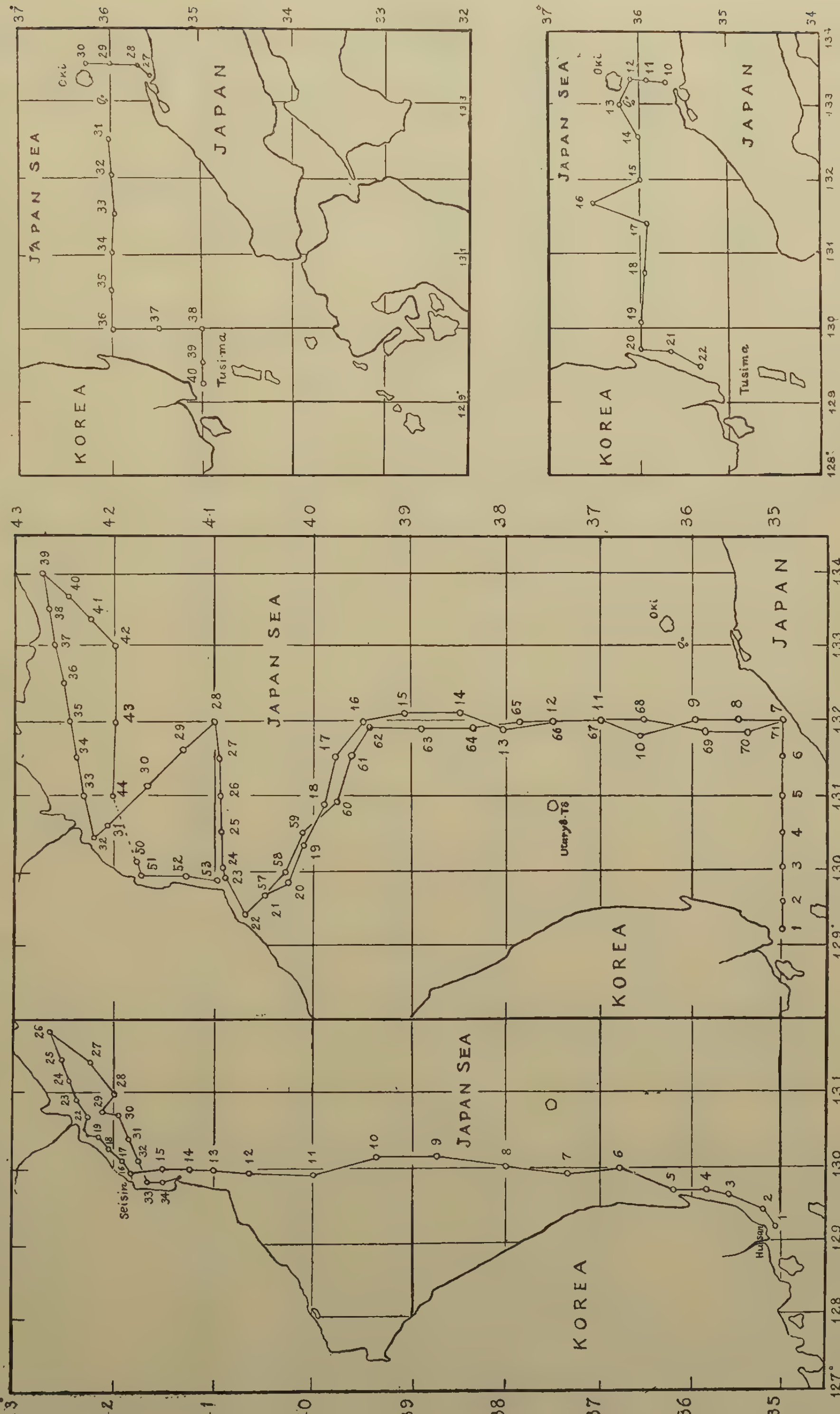
Station		0m	25	50	100	200	300	400	500	600	1000	1000 ~2000	2000 ~2500	2500 ~3000	>3000
Ms 2	α (7)	0	1	4	75	151	**241**	**311**	…	**334**	**322**	**314**	…	…	…
	β (10)	**1**	2	**100**	**176**	**200**	211	242	…	244	275	…	…	274	…
	Mean (17)	0	2	61	134	180	234	270	…	280	294	…	290	…	…
Ms 3 (16)		9	34	125	195	236	283	304	301	…	322	326$_{(8)}$	362$_{(5)}$	328$_{(8)}$	315$_{(3)}$
Ms 7 (23)		1	12	93	159	234	257	262	285	291	298	313$_{(6)}$	…	298$_{(2)}$	302$_{(7)}$

Table XIXd. Mean temperatures for the α and β stations of observation Ms 2: by depths (°C).

Station		0m	25	50	100	200	300	400	500	600	1000	1000 ~2000	2000 ~2500	2500 ~3000	>3000
Ms 2	α (7)	19°.4	19.6	19.5	14.5	6.2	1.4	1.0	…	0.2$_9$	0.1$_5$	☆ 0.1$_4$	…	…	…
	β (10)	16°.7	14.9	4.3	1.2	0.5	0.3$_9$	0.3$_1$	…	0.2$_6$	0.1$_5$	…	…	△ 0.2$_3$	…

Mean depth: ☆ 1673m, △2619m,

Text-fig. 3. Observation stations (1)



〔I〕 Ms 6. Western part of the Japan Sea (1), Feb.~Mar., 1935.

〔II〕 Ms 7. Western part of the Japan Sea (2), May~July, 1935.

〔III〕 Ms 8. South-western part of the Japan Sea (1), Aug., 1935.

〔IV〕 Ms 9. South-western part of the Japan Sea (2), Apr., 1936.

Appendix B

Records of the oceanographic observations in the Japan Sea, 1935~40(Misago-maru).

(Note): In the following Tables [I]-[VI] are presented part of the unpublished results of the oceanographic observations carried out in the Japan Sea on board the Research Vessel Misago-maru in the years 1935, 1936 and 1940.

"Depth" in the first and second columns refers to the reading of the wire-gauge and not to the true depth which can be obtained only through necessary correction. The declination of the sounding wire is given in the parentheses in the first column.

The data for those stations whose station numbers are printed in the gothic type are cited in the text and Appendix A of this paper.

[I] Ms 6. Western part of the Japan Sea (1), Feb.~Mar., 1935.

St.; Depth; Date & Time	Depth m	Temp. °C	Sal. ‰	pH	P_2O_5 mg/m³	SiO_2 mg/L	N_2O_5-N mg/m³
St. 1	0	13.74	34.51	8.24	34	0.85	—
35°06′N	10	13.52	.47	.22	35	0.90	—
121 11 E	25	12.66	.40	.20	35	1.10	—
68m$_{(6°)}$	50	11.85	.36	.20	38	1.10	—
II, 28(11^h 48^m)	63	11.76	.34	.20	38	1.15	—
St. 2	0	14.05	34.51	8.26	31	1.00	—
35°17′N	10	13.89	.49	.26	34	0.70	—
129 22 E	25	13.34	.47	.26	35	0.85	—
78m$_{(16°)}$	50	11.76	.36	.24	34	0.95	—
II, 28(13^h 23^m)	73	11.63	.34	.24	34	1.00	—
St. 3	0	13.34	34.49	8.32	30	1.00	—
35°40′N	10	13.34	.47	.30	27	0.95	—
129 35 E	25	12.59	.33	.28	30	0.90	—
91m$_{(4°)}$	50	11.89	.33	.28	31	0.95	—
III, 2(7^h 09^m)	86	2.93	.05	7.95	102	2.25	—
	0	12.94	34.47	8.30	16	0.95	—
St. 4	10	12.95	.45	.30	24	1.00	—
35°53′N	25	12.40	.36	.28	31	1.00	—
129 38 E	50	11.67	.33	.24	35	1.00	—
112m$_{(4°)}$	75	6.80	.16	.12	71	1.60	—
III, 2(8^h 38^m)	100	2.38	—	—	—	—	—
	107	2.27	.04	7.94	92	1.75	—
St. 5	0	12.13	34.36	8.28	35	1.00	—
36°09′N	10	11.95	.34	.26	27	1.10	—
129 38 E	15	11.96	.33	.26	30	1.10	—
89m$_{(9°)}$	60	10.21	.33	.20	54	1.15	—
III, 3(8^h 09^m)	75	6.00	.11	.02	65	1.55	—
	84	4.11	.05	7.98	78	1.65	—
	0	11.70	34.38	8.30	30	0.95	62
St. 6	10	11.55	.49	.30	30	0.95	63
	25	11.25	.40	.28	30	1.10	67
36°41′N	50	7.28	.18	.12	54	1.40	123
130 00 E	75	3.45	.09	.06	71	1.45	140
947m$_{(21°)}$	100	2.14	.05	7.98	75	1.55	160
	150	0.99	.07	.94	86	2.00	215
III, 3(12^h 02^m)	200	0.69	.07	.88	110	2.30	260
	400	0.28	.09	.84	117	3.20	270
	600	0.16	.07	.84	125	3.70	265
	942	0.12	.07	.82	125	4.35	330
	0	12.74	34.51	8.30	27	0.90	—
St. 7	10	12.58	.49	.30	20	1.00	—
	25	12.58	.49	.30	24	0.90	—
37°21′N	50	12.53	.51	.30	27	0.95	—

129 58 E	75	11.52	34.45	8.26	35	0.95	—
>1000$_{(6^\circ)}$	100	9.06	.25	.20	38	1.20	—
	150	4.75	.07	.18	44	1.25	—
Ⅲ,3(16^{h}46^m)	200	2.23	.05	.00	65	1.65	—
	400	0.55	.09	7.90	109	2.75	—
	600	0.24	.09	.82	110	3.30	—
	1000	0.16	.09	.82	121	4.00	—
	0	10.34	34.42	8.28	19	1.00	—
St. 8	10	10.31	.42	.28	24	1.10	—
	25	10.31	.40	.28	24	1.00	—
38°00′N	50	10.24	.40	.24	30	1.00	—
130 02 E	75	10.03	.34	.20	31	1.05	—
>1000m$_{(34^\circ)}$	100	8.50	.27	.20	34	1.15	—
	150	5.98	.11	.10	52	1.35	—
Ⅲ, 3(21^{h}25^m)	200	3.24	.05	.02	65	1.55	—
	400	0.74	.05	7.92	90	2.15	—
	600	0.36	.09	.84	109	3.15	—
	1000	0.17	.09	.84	117	3.80	—
	0	4.21	33.98	8.20	27	0.95	—
St. 9	10	4.14	.95	.22	30	1.00	—
	25	4.11	34.16	.20	27	1.10	—
38°34′N	50	3.77	33.98	.18	35	1.30	—
130 02 E	75	2.41	.96	.12	40	1.45	—
>1000m$_{(32^\circ)}$	100	2.22	.95	.12	46	1.40	—
	150	1.36	34.05	7.98	75	2.00	—
Ⅲ, (2^{h}04^m)	200	0.99	.07	.98	94	2.10	—
	400	0.36	.11	.88	109	3.15	—
	600	0.20	—	—	—	—	—
	1000	0.13	.11	.82	117	4.15	—
	0	4.91	33.98	8.20	24	0.90	34
St. 10	10	4.79	.98	.20	24	0.80	34
	25	4.73	34.00	.20	34	0.90	45
39°18′N	50	4.32	33.98	.20	34	1.05	45
130 05 E	75	2.97	.98	.12	40	1.25	73
>1000m$_{(32^\circ)}$	100	2.55	34.00	.10	61	1.40	115
	150	1.43	.05	7.98	78	2.30	150
Ⅲ, 4(6^{h}37^m)	200	0.86	.05	.92	94	2.25	210
	400	0.37	.11	.88	109	2.85	235
	600	0.21	—	—	—	—	—
	1000	0.14	.11	.88	—	—	295
	0	3.50	33.93	8.20	27	1.10	—
St. 11	10	3.25	.93	.18	30	0.95	—
	25	3.20	.93	.18	31	1.00	—
40°00′N	50	2.75	.96	.14	34	1.10	—
129 57 E	75	1.67	34.02	.00	63	1.75	—
>1000m$_{(8^\circ)}$	100	0.95	.02	7.92	90	2.25	—
	150	0.66	.11	.90	102	2.55	—
Ⅲ,4(11^{h}18^m)	200	0.53	.14	.84	105	2.75	—
	400	0.24	.11	.84	109	3.20	—
	600	0.15	—	—	—	—	—
	1000	0.14	.11	.84	—	—	—
	0	3.11	33.93	8.20	34	1.00	—
St. 12	10	2.96	.93	.18	30	1.05	—
	25	2.84	.93	.18	30	1.05	—
40°38′N	50	2.36	.95	.18	40	1.00	—
129 58 E	75	1.80	.93	.10	75	1.45	—
>1000m$_{(4^\circ)}$	100	0.98	.98	.00	61	1.50	—
	150	0.78	34.04	7.96	78	1.90	—
Ⅲ,4(16^{h}22^m)	200	0.49	.04	.96	83	2.10	—
	400	0.41	.09	.84	99	2.80	—
	600	0.21	—	—	—	—	—
	1000	0.17	.11	.84	117	3.75	—

St.; Depth; Date & Time	Depth m	Temp. °C	Sal. ‰	pH	P_2O_5 mg/m³	SiO_2 mg/L	N_2O_5-N mg/m³
	0	3.19	33.95	8.20	30	0.85	—
St. 13	10	0.11	.95	.20	30	0.95	—
	25	2.96	.95	.18	30	1.00	—
41°00′N	50	2.23	.95	.16	31	1.00	—
130 00 E	75	1.40	.95	.12	34	1.00	—
>1000m	100	1.60	.95	.08	56	1.55	—
	150	0.89	34.02	7.96	79	1.80	—
III, 4(19^{h}31^m)	200	0.88	.04	.96	86	2.25	—
	400	0.39	.05	.86	106	2.60	—
	600	0.22	—	—	—	—	—
	1000	0.16	.07	.82	110	3.90	—
	0	1.93	34.00	8.12	52	1.30	—
St. 14	10	1.70	33.96	.14	83	1.40	—
	25	1.69	.98	.04	58	1.25	—
41°15′N	50	0.80	.98	.00	63	1.70	—
130 00 E	75	0.56	34.00	.00	75	1.95	—
>1000m(34°)	100	0.46	.00	7.98	82	1.80	—
	150	0.31	.00	.98	75	1.95	—
III, 4(21^{h}57^m)	200	0.30	.02	.96	86	1.95	—
	400	—	.04	.88	102	2.50	—
	600	0.25	—	—	—	—	—
	1000	0.16	.07	.82	109	3.70	—
	0	1.60	33.95	8.10	63	1.35	95
St. 15	10	1.49	.96	.10	61	1.35	125
	25	1.50	.98	.10	65	1.45	115
41°30′N	50	1.18	.96	.08	58	1.55	140
130 00 E	75	0.82	.96	.00	79	1.75	170
>1000m(26°)	100	0.38	.96	.00	79	1.85	165
	150	0.26	34.00	7.96	92	1.95	250
III, 5(0^{h}28^m)	200	—	.00	.94	—	—	—
	400	0.27	.00	.96	92	2.00	265
	600	0.24	—	—	—	—	—
	1000	0.18	.07	.82	126	3.80	290
St. 16	0	0.48	34.09	7.98	82	1.95	—
41°49′N	10	.31	.02	.98	83	1.90	—
129 56 E	25	.29	.00	.98	88	1.75	—
82m(3°)	50	.27	.00	.96	83	1.85	—
III, 6(8^{h}58^m)	78	.12	.00	.90	78	2.15	—
St. 17	0	0.27	33.95	8.00	78	1.75	—
41°55′N	10	.12	.98	.00	79	1.85	—
130 05 E	25	.12	.98	.00	73	1.80	—
105m(5°)	50	.02	.98	.00	79	1.85	—
III, 6(10^{h}26^m)	100	−.13	.98	.00	79	1.75	—
St. 18	0	0.47	33.96	8.00	79	1.85	160
42°03′N	10	.17	.98	.00	75	1.80	170
130 15 E	25	.12	34.00	7.98	78	1.75	190
101m(3°)	50	.09	33.98	.98	75	1.80	185
III, 6(11^{h}54^m)	96	−.10	34.00	.98	79	1.80	160
St. 19	0	0.34	33.98	8.08	54	1.55	—
42°09′N	10	0.00	.96	—	61	1.45	—
130 25 E	25	−.02	.96	.08	61	1.40	—
79m(10°)	50	−.12	.98	.08	67	1.45	—
III, 6(13^{h}17^m)	74	−.11	.98	.08	58	1.35	—
St. 20	0	0.17	—	8.02	63	1.70	125
42°17′N	10	.01	33.96	.02	63	1.60	120
130 31 E 33m(5°)	25	−.05	.98	.00	65	1.60	145
III, 6(14^{h}28^m)	28	−.05	34.00	.00	63	1.50	165

St. 21	0	0.08	33.98	8.10	50	1.65	—
42°16′N. 130°26′E	10	−.02	.98	.08	56	1.30	—
34m(6°)	25	−.08	—	—	—	—	—
III, 6(15^{h} 11^{m})	29	−.08	34.00	.08	56	1.35	—
St. 22	0	−.35	33.95	8.18	52	1.00	—
42°14′N	10	−.43	.95	.18	50	1.00	—
130 36 E	25	−.45	.96	.18	38	1.05	—
71m(3°)	50	−.47	.98	.16	40	1.00	—
III, 7 (9^{h}01^{m})	66	−.48	34.00	.16	46	1.00	—
St. 23	0	−.12	33.96	8.10	50	1.25	—
42°19′N	10	−.34	.95	.12	56	1.35	—
130 51 E	25	−.34	.95	.12	50	1.35	—
74m(4°)	50	−1.21	34.11	.18	40	0.85	—
III, 7(10^{h} 48^{m})	69	−1.32	.13	.18	40	0.85	—
St. 24	0	0.18	33.95	8.08	67	1.70	—
42°22′N	10	.02	.95	.00	71	1.65	—
131 03 E	25	.00	.96	.02	65	1.60	—
90m(4°)	50	−.02	.98	.06	67	1.60	—
III, 7(12^{h} 20^{m})	85	−.98	34.22	.10	58	1.20	—
St. 25	0	−.57	33.95	8.16	40	0.75	—
42°28′N	10	−.80	.95	.16	40	0.75	—
131 22 E	25	−.86	.95	.14	35	0.85	—
80m(3°)	50	−.88	.95	.14	44	0.90	—
III, 7. (14^{h} 22^{m})	75	−1.22	34.29	.10	50	1.35	—
St. 26	0	−.37	33.95	8.14	58	1.10	120
42°33′N	10	−.68	.95	.14	58	1.25	125
131 41 E	25	−.54	.95	.12	58	1.35	100
78m(5°)	50	—	.96	.12	73	1.05	75
III, 7(16^{h} 24^{m})	73	−1.36	34.04	.12	52	1.00	55
	0	0.28	33.95	8.02	63	1.75	—
St. 27	10	.28	.95	.02	67	1.85	—
	25	.22	.98	.02	65	1.60	—
42°14′N	50	.19	.98	.02	63	1.50	—
131 18 E	75	.20	34.00	.02	67	1.65	—
>1000m(5°)	100	.20	.00	.02	71	1.70	—
	150	.24	.00	.02	71	1.60	—
III, 7(19^{h} 23^{m})	200	.34	33.98	.02	79	1.75	—
	400	.43	.98	7.96	88	2.00	—
	1000	.14	34.02	.78	113	3.45	—
	0	0.39	33.95	8.00	63	1.70	185
St. 28	10	.30	34.00	.00	75	1.85	160
	25	.35	.02	7.98	79	1.95	180
42°00′N	50	.30	.00	.98	82	1.75	190
131 00 E	75	.29	.04	.98	73	1.85	190
>1000m(5°)	100	.30	.04	.98	75	1.80	210
	150	.20	.04	.98	83	1.80	225
III, 7(21^{h} 56^{m})	200	.19	.04	.96	86	1.80	240
	400	.11	.11	.90	92	2.40	270
	1000	.17	.11	.82	120	3.95	330
	0	0.36	33.95	8.00	75	2.05	—
St. 29	10	.25	34.02	.00	67	1.75	—
	25	.21	.02	7.98	79	1.65	—
42°08N	50	.16	.02	.98	79	1.75	—
130 43 E	75	.17	.02	.98	73	1.85	—
>1000m(10°)	100	.15	.04	.98	79	1.80	—
	150	.16	.09	.98	86	1.80	—
III, 8(0^{h} 00^{m})	200	.18	.07	—	—	2.50	—
	400	.07	.09	.92	105	2.45	—
	1000	.05	.11	.86	—	3.30	—
	0	0.15	34.00	8.00	73	1.70	—
St. 30	10	.06	.02	.00	71	1.70	—
	25	.06	.04	7.98	67	1.70	—
41°56′N	50	.01	.04	.98	67	1.90	—

St.; Depth; Date & Time	Depth m	Temp. °C	Sal. ‰	pH	P_2O_5 mg/m^3	SiO_2 mg/L	N_2O_5-N mg/m^3
130 40 E	75	0.03	34.00	7.98	73	1.95	—
>1000m°	100	.03	.02	8.00	75	2.00	—
	150	.03	.02	8.00	75	1.90	—
III, 8(1^{h}50^{m})	200	.00	.02	7.98	78	2.05	—
	400	.09	.05	.96	83	2.40	—
	1000	.12	.11	.84	120	4.10	—
	0	1.45	34.02	8.10	56	1.35	—
St. 31	10	1.33	.00	.08	56	1.45	—
	25	1.32	33.98	.08	61	1.35	—
41°52′N	50	0.68	34.07	.00	75	1.65	—
130 20 E	75	.56	.05	7.98	78	1.75	—
763m($4°$)	100	.35	.05	.98	86	1.85	—
	150	.25	.11	.98	88	1.85	—
III, 8(4^{h}00^{m})	200	.26	.05	.98	88	1.95	—
	400	.22	.13	.96	90	2.15	—
	758	−.07	.13	.82	109	4.80	—
St. 32	0	1.41	34.04	8.08	58	1.41	—
	10	0.37	.04	.08	61	1.30	—
	25	1.17	.11	.08	65	1.20	—
41°48′N	50	0.76	.07	.02	73	1.65	—
130 03 E	75	0.58	.09	.02	75	1.80	—
156m($0°$)	100	0.11	—	—	—	—	—
III, 8(5^{h}54^{m})	151	−.19	.11	7.98	82	2.00	—
St. 33	0	0.54	34.05	8.00	67	1.90	—
41°42′N	10	.44	.04	.00	67	1.65	—
129 47 E	25	.21	.02	.00	71	1.60	—
64m($8°$)	50	.22	—	—	—	—	—
III, 9(6^{h}40^{m})	59	.32	.04	.00	71	1.45	—
St. 34	0	1.47	33.96	8.02	56	1.30	—
	10	1.31	—	.00	73	1.30	—
	25	0.81	34.04	.00	78	1.65	—
41°31′N	50	.50	.07	.00	73	1.70	—
129 44 E	75	.39	.11	.00	78	1.80	—
121m($4°$)	100	.35	—	—	—	—	—
III, 9(8^{h}07^{m})	116	.35	.11	7.96	73	1.80	—

〔II〕 Ms 7. Western part of the Japan Sea (2), May～July, 1935.

St.; Depth; Date & Time	Depth m	Temp C°	Sal. ‰	pH	O_2 cc/L	O_2/O'_2 %	P_2O_5 mg/m^3	SiO_2 mg/L	N_2O_5-N mg/m^3
	0	16.17	33.93	8.30	5.77	100	18	0.65	0
St. 1	10	15.94	34.00	.30	.77	100	18	.85	0
35°00′N	25	15.68	.00	.30	.94	102	16	.65	1
129 10 E	50	13.83	.22	.28	.47	91	22	.85	30
94m($6°$)	75	13.78	.38	.22	.87	81	42	1.15	70
V, 29(13^{h}33^{m})	89	13.52	.38	.18	.70	78	52	1.30	105
	0	19.11	34.43	8.34	5.35	98	8	0.40	0
St. 2	10	19.15	.43	.34	.35	98	11	.50	0
35°00′N	25	18.23	.45	.32	.52	100	12	.50	0
129 30 E	50	16.73	.43	.30	.46	96	18	.60	0
150m($11°$)	75	14.91	.45	.20	4.52	77	67	1.05	90
V, 29(15^{38})	100	14.78	.45	.20	.37	74	56	1.15	90
	145	14.88	.45	.20	.37	75	63	1.30	115
	0	18.48	34.38	8.32	5.48	99	7	0.45	0
St. 3	10	18.50	.43	.32	.55	101	8	.45	1
35°00′N	25	18.19	.43	.30	.52	100	12	.45	0
130 01 E	50	15.91	.22	.30	.82	101	16	.50	0

	75	15.35	34.45	8.22	4.76	82	38	1.05	67
135m$_{(15^\circ)}$	100	15.05	.47	.22	.72	81	48	1.15	67
V, 29(18^{23})	130	14.52	.47	.20	.51	76	67	1.30	130
St. 4	0	17.96	34.36	8.30	5.33	99	11	0.45	0
	10	18.06	.38	.32	.57	100	18	.40	0
35°00′N	25	17.19	.47	.34	.77	102	8	.45	0
130 30 E	50	15.99	.52	.24	.46	95	44	.65	2
133m$_{(10^\circ)}$	75	15.33	.58	.22	4.83	83	44	1.00	83
VI, 29(21^{08})	100	14.89	.52	.20	.56	78	44	1.05	87
	128	14.27	.47	.20	.50	76	67	1.50	130
St. 5	0	19.47	34.38	8.34	5.33	98	11	0.35	0
	10	19.62	.38	.34	.55	102	11	.40	0
34°59′N	25	18.83	.47	.32	.55	101	18	.40	0
131 00 E	50	16.08	.58	.32	.57	97	34	.65	0
124m$_{(5^\circ)}$	75	15.98	.52	.22	4.85	84	42	.90	55
V, 30(0^{06})	100	15.31	.54	.20	.52	78	56	1.10	150
	119	15.31	.54	.20	.51	77	50	1.15	135
St. 6	0	18.84	34.52	8.34	5.37	98	12	0.30	0
35°00′N	10	18.92	.56	.32	.37	98	11	.35	0
131 30 E	25	18.25	.60	.34	.46	99	12	.40	0
129m$_{(12^\circ)}$	50	18.03	.58	.30	.35	97	20	.55	1
V, 30(3^{16})	75	16.75	.58	.30	.25	93	22	.75	7
	124	16.07	.56	.28	4.86	85	38	.90	53
St. 7	0	18.36	34.51	8.36	5.41	99	8	0.40	3
	10	19.03	.51	.36	.44	100	11	—	2
35°00′N	25	18.00	.51	.32	.57	100	11	.35	0
132 00 E	50	17.25	.47	.32	.36	95	18	.45	2
126m$_{(4^\circ)}$	75	17.19	.56	.32	.35	95	29	.45	0
V, 31(5^{02})	100	17.13	.51	.32	.34	95	24	.45	0
	121	17.09	.49	.32	.27	93	18	.40	0
St. 8	0	18.23	34.49	8.34	5.48	99	8	0.40	0
	10	18.34	.45	.34	.49	100	8	.40	1
35°30′N	25	16.91	.49	.34	.73	101	18	.55	1
132 00 E	50	15.72	.49	.26	4.94	85	34	.85	59
172m$_{(6^\circ)}$	75	15.14	.58	.26	.83	83	48	.95	63
V, 31(8^{24})	100	14.86	.58	.22	.78	82	56	1.10	—
	150	5.63	.07	7.96	5.35	76	98	2.95	235
	167	3.64	(.22)	.98	.61	76	103	2.10	230
	0	17.99	34.34	8.32	5.74	103	7	0.35	3
St. 9	10	17.20	.33	.34	.79	103	7	.35	2
	25	15.34	.42	.34	.77	99	12	.40	1
35°59′N	50	14.08	.43	.24	.25	97	34	.65	70
132 00 E	75	11.09	.36	.18	.59	89	49	.90	85
865m$_{(4^\circ)}$	100	6.51	.18	.10	.89	85	56	1.05	150
	150	2.07	.05	7.90	6.14	80	92	1.55	220
V, 31(11^{45})	200	1.08	.05	.86	.88	87	114	2.10	240
	300	0.51	.05	.82	5.72	72	123	2.70	290
	400	.30	.05	.80	.59	70	132	2.95	295
	500	.22	.05	.78	.55	69	133	3.20	295
	600	.17	.07	.78	.57	69	133	3.55	305
	855	.19	.05	.78	.48	68	132	3.45	305
	0	18.32	34.40	8.34	5.66	102	7	0.35	2
St. 10	10	16.72	.40	.36	.80	102	11	.35	0
	25	14.93	.31	.34	.66	96	22	.45	7
36°30′N	50	14.18	.40	.30	.50	92	50	.60	41
131 58 E	75	10.61	.27	.28	.41	96	52	.80	92
1711m$_{(13^\circ)}$	100	7.14	.22	.20	.58	81	78	1.35	220
	150	1.77	.07	.04	.80	75	—	—	—
V, 31(15^{36})	200	0.88	.05	7.84	6.06	77	118	2.10	285
	300	.48	.05	.80	5.62	70	133	2.50	300
	400	.31	.05	.78	.51	69	137	3.10	300
	500	.19	.07	.76	.53	69	136	3.15	305

St.; Depth; Date & Time	Depth m	Temp. °C	Sal. ‰	pH	O_2 cc/L	O_2/O'_2 %	P_2O_5 mg/m^3	SiO_2 mg/L	N_2O_5-N mg/m^3
	600	0.16	34.05	7.76	5.52	69	141	3.30	305
	1000	.13	.07	.76	.56	69	137	3.55	310
	1701	.13	.07	.78	.56	69	148	3.75	305
	0	17.86	34.33	8.34	5.61	101	11	0.45	0
St. 11	10	16.77	.36	.36	.66	100	7	—	1
	25	14.63	.22	.32	6.30	107	12	—	1
37°00′N	50	9.55	.05	.24	.27	96	33	—	12
132 00 E	75	5.02	.05	.02	.18	86	63	—	125
1766m$_{(12°)}$	100	2.50	.00	7.98	.46	85	73	—	205
	150	1.10	—	.84	5.87	—	118	1.80	275
V, 31(19^{22})	200	0.66	.07	.82	.82	73	128	2.25	270
	300	.42	.05	.80	.50	69	132	2.50	300
	400	.28	.07	.78	.48	68	137	2.70	300
	500	.19	.05	.76	.47	68	133	2.80	305
	600	.17	.05	.76	.47	68	136	3.10	305
	1000	.12	.05	.76	.54	69	140	3.35	305
	1756	.15	.05	.78	.56	69	141	4.00	305
	0	17.26	34.43	8.32	5.56	99	8	0.35	0
St. 12	10	17.03	.36	.32	.73	101	8	.35	0
	25	14.80	.49	.30	6.10	104	7	.35	0
37°31′N	50	11.28	.22	.22	.18	98	26	.50	13
132 00 E	75	6.78	.11	.10	.02	97	37	.90	95
2382m$_{(35°)}$	100	4.55	.05	.00	.00	82	72	1.25	155
	150	2.10	.05	7.92	.25	81	86	1.30	215
V, 31(23^{09})	200	1.30	.04	.90	.29	80	90	1.60	175
	300	0.65	.05	.84	.07	76	118	2.05	250
	400	.46	.05	.80	5.94	74	129	—	260
	500	.29	—	.78	.68	—	140	2.70	285
	600	.24	.05	.76	.35	66	140	3.05	295
	1000	.13	.05	.76	.56	69	—	—	305
	2372	.17	.05	.78	.56	69	136	4.10	290
	0	16.39	34.29	8.32	5.81	102	8	0.35	0
St. 13	10	16.48	.27	.32	.78	101	11	.35	0
	25	15.52	.33	.32	6.04	104	16	.45	0
38°02′N	50	13.58	.31	.24	4.99	83	56	.75	82
131 59 E	75	11.04	.38	.20	5.48	87	56	.85	82
1242m$_{(12°)}$	100	8.97	.22	.18	.65	86	56	.90	75
	150	2.90	.05	7.92	6.03	80	86	1.25	165
V, 1(3^{02})	200	1.19	.05	.88	.38	81	92	1.70	280
	300	0.67	.05	.84	.36	80	106	2.00	215
	400	.42	.05	.82	.04	75	112	2.40	230
	500	.24	.05	.76	5.71	71	128	3.00	240
	600	.18	.05	.76	.61	70	133	3.15	280
	1000	.11	.05	.76	.64	70	133	3.60	300
	1212	.12	.05	.76	.58	69	133	3.75	320
	0	15.60	34.22	8.30	5.82	100	7	0.30	0
St. 14	10	14.99	.22	.30	6.00	102	8	.35	0
	25	10.32	.05	.22	.63	103	8	.30	0
38°32′N	50	5.60	.05	.02	.07	86	84	1.10	120
132 07 E	75	2.92	.04	7.98	.41	85	80	1.30	150
2573m$_{(7°)}$	100	1.84	.04	.90	.28	81	88	1.50	160
	150	0.97	.05	.88	.43	81	88	1.65	220
VI, 1(6^{51})	200	.78	.05	.84	.37	80	106	1.90	225
	300	.47	.07	.82	.10	76	116	2.25	270
	400	.33	.07	.80	5.86	73	128	2.45	250
	500	.25	.05	.78	.78	72	136	2.70	270
	600	.17	—	.76	.75	—	133	2.80	285
	1000	.14	.05	.76	.66	70	132	3.30	305
	1773	.13	.05	.76	.62	70	137	3.85	305
	2543	.20	.05	.78	.56	69	132	3.80	325

	0	15.21	34.22	8.32	5.83	100	4	0.35	0
St. 15	10	14.71	.22	.32	.87	99	8	.35	0
	25	12.53	.22	.32	6.47	105	7	.35	0
39°03′N	50	8.76	.11	.26	.43	98	30	.60	22
132 02 E	75	7.11	.11	.20	.29	80	44	.70	64
3193m$_{(47^{\circ})}$	100	5.49	.07	.16	.38	90	37	.95	85
	150	2.56	.05	.02	.28	83	78	1.30	190
VI, 1(10^{55})	200	2.18	.04	.00	.07	79	82	1.60	190
	300	0.90	.05	7.90	.06	77	106	2.10	260
	400	.52	.04	.84	5.84	73	120	2.25	295
	500	.32	.05	.84	.83	73	123	2.30	300
	600	.25	.05	.82	.82	72	106	2.65	305
	1000	.15	.05	.80	.62	70	106	3.15	310
	3163	.21	.07	.84	.59	69	120	3.75	285
	0	15.50	34.29	8.32	5.85	101	8	0.20	0
St. 16	10	15.01	.25	.32	.87	100	8	.25	0
	25	13.01	.23	.32	6.30	104	11	.25	1
39°28′N	50	9.87	.25	.26	.02	93	33	.55	61
132 00 E	75	7.97	.20	.20	.12	80	44	.70	65
3090m$_{(31^{\circ})}$	100	5.98	.07	.16	.27	89	54	.95	75
	150	3.52	.05	.02	.16	83	76	1.30	160
VI, 1(14^{40})	200	2.21	.04	7.98	.25	81	88	1.50	210
	300	0.79	.05	.86	.21	78	116	2.10	260
	400	0.43	.05	.84	5.90	74	128	2.50	260
	500	.27	.05	.84	.71	71	128	2.90	355
	600	.21	.07	.84	.64	70	129	—	305
	1000	.14	.07	.82	.73	71	128	3.25	320
	3060	.22	.05	.82	.66	70	128	3.70	320
	0	15.28	34.20	8.32	6.00	103	4	0.25	0
St. 17	10	14.23	.20	.32	.12	103	4	.25	0
	25	11.92	.20	.32	.45	104	11	.35	0
39°44′N	50	7.89	.20	.20	.16	92	44	.65	61
131 30 E	75	5.20	.04	.14	.47	90	50	.85	91
3086m$_{(24^{\circ})}$	100	4.13	.04	.10	.40	87	67	1.00	145
	150	2.24	.05	7.98	.28	82	82	1.45	220
VI, 1(18^{57})	200	1.19	.05	.92	.27	80	94	1.70	270
	300	0.58	.05	.88	.10	76	106	2.20	285
	400	.43	.05	.86	.04	75	118	2.25	285
	500	.23	.07	.82	5.86	73	125	2.65	295
	600	.20	.07	.82	.80	72	123	2.80	305
	1000	.13	.05	.80	.66	70	125	3.40	310
	3056	.23	.07	.80	.57	69	128	3.70	350
	0	12.18	33.89	8.26	6.58	106	16	0.65	0
St. 18	10	9.64	.89	.28	.96	107	22	.65	0
	25	7.96	.89	.28	7.25	108	29	.80	1
39°56′N	50	2.55	34.00	.02	.02	92	67	1.10	105
130 56 E	75	1.26	33.98	7.96	.00	89	80	1.45	190
3118m$_{(10^{\circ})}$	100	0.81	34.04	.90	6.66	84	90	1.80	220
	150	.79	.05	.88	.17	78	98	2.15	295
VI, 1(23^{06})	200	.43	.05	.88	.34	79	99	2.25	240
	300	.38	.05	.84	.04	75	114	2.25	225
	400	—	.05	.82	5.91	—	118	2.85	225
	500	.18	.05	.82	.78	72	125	3.05	275
	600	.17	.04	.80	.72	71	129	3.10	280
	1000	.13	.05	.80	.70	71	128	3.30	245
	3088	.25	.05	.80	.70	71	125	3.70	235
	0	11.59	33.89	8.22	6.61	105	22	0.80	1
St. 19	10	9.37	.89	.22	7.24	111	26	.85	1
	25	4.56	.91	.20	8.30	114	33	1.00	10
40°08′N	50	1.96	34.02	7.98	6.75	88	73	1.35	175
130 28 E	75	0.60	.02	.96	7.31	92	80	1.50	165
3076m$_{(21^{\circ})}$	100	.35	.00	.94	.34	91	84	1.60	160
	150	.30	.00	.94	.03	87	86	1.60	200
VI, 2(2^{47})	200	.23	.02	.94	.03	87	88	1.60	185
	300	.23	.04	.92	6.85	85	92	1.85	185
	400	.20	.05	.84	.50	81	107	2.40	185

St; Depth; Date & Time	Depth m	Temp. °C	Sal. ‰	pH	O_2 cc/L	O_2/O_2' %	P_2O_5 mg/m³	SiO_2 mg/L	N_2O_5-N mg/m³
	500	0.16	34.04	7.82	6.19	77	112	2.50	245
	600	—	.05	.82	5.85	73	116	2.75	295
	1000	.14	.05	.80	.73	71	118	3.20	295
	3046	.18	.05	.82	.83	72	118	3.25	295
	0	10.46	33.84	8.22	6.60	103	8	0.55	1
St. 20	10	10.54	.86	.22	.66	104	22	.70	1
	25	5.76	.91	.22	7.80	110	34	.95	10
40°21′N	50	2.20	34.02	7.98	.13	93	64	1.30	140
129 57 E	75	0.61	.02	.92	6.94	87	73	1.55	195
$2900m_{(38^\circ)}$	100	.80	.04	.92	.72	85	82	1.65	225
	150	.48	.02	.90	.92	86	78	1.75	195
VI, 2(6^{36})	200	.46	.05	.88	.83	85	86	1.80	240
	300	.41	.05	.86	.43	80	98	2.10	250
	400	.23	.05	.84	.27	78	112	2.25	260
	500	.15	.04	.82	5.95	74	114	2.65	255
	600	.16	.05	.80	.78	72	123	2.85	250
	1000	.14	.05	.80	.63	70	123	3.30	270
	2870	.16	.05	.82	.82	72	125	3.60	270
	0	10.09	33.91	8.24	6.75	105	24	0.70	1
St. 21	10	10.18	.91	.24	.86	107	18	.60	1
	25	7.74	.89	.22	7.55	111	50	.85	10
40°30′N	50	2.26	.91	.02	.70	100	63	1.25	130
129 36 E	75	1.05	34.02	7.98	.26	92	64	1.40	125
$573m_{(13^\circ)}$	100	0.74	.04	.98	.26	91	64	1.25	165
	150	.39	.02	.92	.22	90	82	1.45	205
VI, 2(9^{45})	200	.25	.04	.92	.10	88	84	1.65	215
	300	.15	.04	.88	6.82	85	99	1.90	220
	400	.17	.05	.84	.45	80	103	2.20	260
	500	.16	.05	.84	.13	76	107	2.20	220
	543	.17	—	—	—	—	—	—	—
St. 22	0	8.40	33.84	8.22	7.70	115	20	0.60	0
	10	6.49	.86	.22	8.19	118	29	.60	0
40°37′N	25	4.36	.91	.14	7.91	109	37	.65	55
129 19 E	50	—	.91	.08	.55	—	46	.70	55
$124m_{(10^\circ)}$	75	2.08	.95	.08	.64	99	46	.75	70
VI, 2(11^{42})	100	1.73	.95	.02	.54	97	50	.75	80
	119	1.46	.95	.00	.35	94	58	.90	100
St. 23	0	9.52	33.51	8.18	6.83	96	22	0.60	1
	10	7.74	.51	.16	7.13	98	22	.85	3
40°50′N	25	4.69	.84	.14	.99	110	50	.85	9
129 47 E	50	2.97	.96	.08	.48	99	52	1.00	73
$174m_{(15^\circ)}$	75	2.00	.96	.08	.50	97	56	0.90	110
VI, 7(7^{17})	100	1.50	.95	.02	.45	95	60	1.10	135
	169	0.87	.96	7.98	.24	92	82	1.60	170
	0	6.90	33.69	8.18	7.42	108	26	0.60	0
St. 24	10	4.94	.84	.16	.72	107	37	.80	8
	25	3.14	.87	.10	.66	102	44	.85	35
40°52′N	50	2.00	.89	.02	.51	97	50	1.10	65
130 01 E	75	1.79	.91	.02	.51	94	50	.95	60
$1869m_{(13^\circ)}$	100	1.77	.89	.02	.51	100	52	1.20	60
	150	1.30	.91	.02	.47	95	56	1.30	130
VI, 7(9^{02})	200	0.93	.93	7.98	.41	94	64	1.45	180
	300	.62	34.03	.92	.08	89	84	1.80	210
	400	.26	.04	.88	6.81	85	99	2.20	225
	500	.21	.05	.86	.33	79	110	2.55	290
	600	.18	.05	—	—	—	—	—	—
	1000	—	.05	.78	5.63	—	128	3.90	320
	1839	.14	.05	.78	.72	71	125	4.10	315

St. 24a	0	9.16	33.66	8.20	7.02	107	22	0.65	0
	10	8.57	.69	.18	.16	107	26	.65	1
40°52′N	25	3.23	.87	.12	8.24	110	33	.85	9
130 30 E	50	2.37	.87	.04	7.54	99	50	.90	54
1600m(25°)	75	1.84	.89	.02	.43	96	56	1.00	75
	100	--	.89	.00	.42	—	56	1.20	125
VI, 9(10^{33})	150	--	.93	8.00	.53	—	58	1.25	130
	200	0.91	34.00	7.96	.33	93	63	1.30	175
	300	.61	.02	.92	.13	89	84	1.60	205
	400	.43	.02	.88	6.91	86	92	2.05	265
	500	.21	.04	.82	.60	82	102	2.25	305
	600	.23	.05	.80	.06	75	116	3.05	315
	1000	.15	.05	.76	5.59	69	123	3.75	325
	1570	.13	.07	.78	.66	70	128	3.75	325
	0	10.66	33.73	8.20	6.70	105	18	0.85	0
St. 25	10	9.65	.75	.20	.98	107	22	.90	0
	25	3.21	.98	.10	7.93	106	54	1.15	65
40°54′N	50	1.34	34.00	7.94	.33	93	73	1.45	200
130 30 E	75	0.83	.00	.92	.24	91	80	1.65	265
3094m(25°)	100	—	.00	.90	.13	—	84	1.80	265
	150	—	.02	.90	6.95	—	92	2.00	315
VI, 9(13^{43})	200	.31	.04	.86	.83	85	102	2.20	250
	300	.28	.04	.82	.29	78	116	2.55	315
	400	.25	.05	.80	.03	75	120	3.15	280
	500	.20	.05	.80	5.93	73	118	3.25	330
	600	.14	.04	.78	.84	72	120	3.30	320
	1000	.13	.04	.76	.72	71	120	3.50	325
	3064	.24	.05	.78	.68	71	129	4.25	315
	0	12.56	33.95	8.20	6.29	102	11	0.85	0
St. 26	10	12.29	.91	.20	.31	102	20	.85	0
	25	8.60	34.04	.18	7.23	94	26	.95	0
40°56′N	50	3.15	.02	.02	.22	96	56	1.00	60
131 00 E	75	1.50	.04	7.96	.31	94	76	1.45	155
3262m(15°)	100	0.61	.05	.94	.22	90	80	1.50	150
	150	.52	.00	.90	.10	89	84	1.85	210
VI, 9(17^{27})	200	.41	.00	.88	6.93	86	102	2.30	260
	300	.22	.04	.86	.59	82	110	2.70	295
	400	.20	.04	.82	.20	77	116	3.05	300
	500	.18	.04	.78	5.98	74	120	3.15	305
	600	.15	.05	.78	.73	71	132	3.40	295
	1000	.13	.05	.76	.72	71	133	4.00	290
	3232	.25	.05	.78	.62	70	123	4.20	315
	0	12.41	33.95	8.20	6.28	102	22	0.65	0
St. 27	10	12.19	.91	.20	.24	101	22	.75	0
	25	7.88	34.02	.22	7.36	109	22	.90	0
40°58′N	50	3.09	.04	7.98	.24	96	63	1.30	145
131 30 E	75	1.21	.05	.92	.01	89	82	1.70	260
3395m(29°)	100	0.81	.09	.88	6.75	85	88	1.90	285
	150	.50	.09	.86	.44	81	92	2.25	290
VI, 9(21^{15})	200	.33	.07	.88	.76	84	92	2.25	290
	300	.27	.09	.84	.68	83	103	2.50	300
	400	.22	.20	.82	.05	75	116	2.90	315
	500	.22	.07	.78	5.83	72	123	3.25	315
	600	.17	.05	.78	.80	72	129	3.45	315
	1000	.12	.09	.76	.73	71	133	3.65	330
	3365	.27	.09	.80	.61	70	141	4.20	290
	0	11.65	33.80	8.20	6.33	101	22	0.70	0
St. 28	10	11.56	.95	.20	.38	102	24	.90	0
	25	5.86	.98	.20	7.91	112	38	1.15	0
41°00′N	50	1.94	34.09	7.94	.09	92	80	1.45	220
132 00 E	75	1.27	.05	.90	6.73	86	86	1.60	270
> 1000m	100	0.88	.05	.92	.88	87	90	1.85	250
	150	.53	.07	.88	.73	84	98	2.05	265
VI, 10(1^{32})	200	.44	.07	.86	.86	86	99	2.20	240
	300	.30	.09	.82	.53	81	116	2.55	255
	400	.28	.09	.80	5.97	74	123	2.85	225
	500	.16	.09	.78	6.01	75	132	3.00	270

St.; Depth; Date & Time	Depth m	Temp. °C	Sal. ‰	pH	O_2 cc/L	O_2/O'_2 %	P_2O_2 mg/m^3	SiO_2 mg/L	N_2O_5-N mg/m^3
	600	0.14	34.09	7.78	5.86	73	132	3.25	270
	1000	.14	.16	.78	.71	71	133	3.55	335
	0	9.58	33.86	8.12	6.90	106	30	0.65	16
St. 29	10	9.33	.95	.12	.99	107	33	.70	16
	25	4.31	.95	.02	—	—	52	.80	74
41°21′N	50	2.26	34.07	7.98	7.38	96	84	1.30	95
131 35 E	75	0.69	.07	.88	.13	90	92	(2.30)	220
> 1000m	100	.49	.07	.86	6.97	87	99	2.25	220
	150	.37	.11	.84	.76	84	114	2.45	265
VI, 10(5^{38})	200	.29	.09	.82	.30	78	120	—	280
	300	.19	.09	.78	5.87	73	129	3.15	315
	400	.17	.09	.78	.66	70	133	3.40	305
	500	.13	.09	.76	.65	70	136	3.50	315
	600	.15	.09	.76	.63	70	129	3.50	325
	1000	.18	.11	.78	.82	72	132	3.35	330
	0	9.05	33.84	8.18	7.13	108	30	0.65	0
St. 30	10	8.62	.84	.18	.19	108	33	.70	3
	25	5.16	.96	.10	.90	110	48	.90	36
41°46′N	50	1.76	34.04	7.92	.18	93	76	1.45	210
131 09 E	75	0.96	.05	.90	.13	90	80	1.65	225
> 1000m	100	.74	.05	.90	.07	89	84	1.70	225
	150	.36	.05	.86	.00	87	94	1.75	260
VI, 10(9^{42})	200	.36	.05	.86	6.94	87	92	2.40	255
	300	.33	.05	.84	.73	84	102	2.50	305
	400	.21	.09	.82	.38	79	116	2.75	310
	500	.19	.09	.76	5.96	74	128	3.05	340
	600	.19	.07	.76	.78	72	133	3.40	335
	1000	.15	.09	.76	.72	71	129	4.05	360
	0	8.76	33.60	8.18	7.13	107	24	0.65	0
St. 31	10	8.35	.62	.18	.19	107	29	.70	1
	25	3.80	.84	.10	8.07	109	38	.85	9
42°06′N	50	3.10	.89	.00	7.36	98	48	.95	64
130 40 E	75	2.17	.91	.00	.31	95	50	1.00	64
> 1000m	100	2.08	.96	7.98	.02	91	56	1.15	80
	150	1.05	34.00	.94	.33	93	73	1.25	185
VI, 10(13^{59})	200	1.06	.07	.92	.03	89	78	1.50	180
	300	1.07	—	—	6.90	—	—	—	—
	400	0.75	.09	.84	.53	82	103	2.50	250
	500	.18	.22	.82	.37	79	112	2.80	325
	600	.17	.20	.74	5.99	74	116	3.15	320
	1000	.16	.09	.72	.53	69	133	3.55	320
	0	10.34	32.94	8.18	6.54	101	29	0.65	3
St. 32	10	9.06	33.69	.18	.65	101	24	.40	1
42°12′N	25	6.88	.73	.16	7.36	106	29	.60	1
130 34 E	50	3.40	.87	.10	.58	102	37	.70	27
102m$_{(0°)}$	75	3.35	.91	.02	.15	96	37	1.00	20
VI, 10(15^{32})	100	3.34	.91	.02	.11	95	42	0.70	68
	0	8.16	33.42	8.22	6.99	104	22	0.75	0
St. 33	10	7.32	.51	.22	7.24	106	22	.80	9
42°18′N	25	6.68	.57	.22	.23	104	30	.70	0
131 00 E	50	3.87	.77	.12	6.89	93	50	1.15	14
147m$_{(5°)}$	75	3.51	.82	.12	.86	92	52	1.15	23
VI, 19(12^{21})	100	3.14	.91	.12	7.11	95	63	1.15	45
	142	3.16	.91	.10	.06	94	64	1.35	40
St. 34	0	8.92	33.77	8.22	6.97	105	29	0.70	1
	10	7.18	.71	.22	7.10	104	30	.80	0
42°22′N	25	6.75	.80	.22	.12	103	34	.75	2
131 30 E	50	5.11	.75	.20	.27	101	44	1.42	11
626m$_{(16°)}$	75	3.32	.91	.12	.25	97	52	1.15	45
	100	3.15	.91	.10	.21	96	60	1.35	45

VI, 19(15^{53})	150	2.14	33.98	8.02	7.05	92	69	1.55	100
	200	1.61	34.05	.02	.00	90	80	1.75	110
	300	1.06	.05	7.92	6.37	81	112	2.30	185
	400	0.89	.09	.88	.23	79	120	2.40	200
	500	.66	.11	.86	.12	77	125	2.80	200
	600	.66	.09	.82	5.85	74	154	3.70	275
St. 35	0	9.16	33.78	8.22	6.85	104	29	0.80	0
	10	7.45	.75	.22	7.07	104	29	.65	0
42°26′N	25	7.13	.71	.20	.01	102	33	.85	0
132 00 E	50	5.36	.69	.20	.17	100	42	.80	5
133m(3°)	75	3.41	.78	.12	.25	91	48	1.00	42
VI, 19(18^{30})	100	3.32	.80	.12	.30	97	50	0.90	38
	128	3.23	.86	.12	.24	97	52	1.30	46
St. 36	0	7.14	33.48	8.22	7.14	104	33	0.75	0
	10	—	.57	.22	.17	—	46	1.00	0
42°30′N	25	7.18	.71	.22	.03	103	29	0.80	0
132 30 E	50	7.03	.84	.18	6.94	101	34	.85	5
112m(2°)	75	4.71	.91	.14	7.00	97	46	.95	—
VI, 19(21^{30})	100	3.31	.91	.02	.09	95	54	1.25	45
	107	3.34	.89	.02	.05	94	69	1.15	30
St. 37	0	8.15	33.80	8.22	6.87	102	30	0.65	0
	10	7.83	.80	.22	.93	102	30	.65	0
42°34′N	25	7.50	.80	.20	.83	100	30	.65	0
130 00 E	50	7.33	.84	.20	.83	100	29	.65	1
188m(4°)	75	6.91	.84	.18	.86	99	37	.90	6
VI, 20(0^{23})	100	3.96	.84	.14	7.07	96	48	.95	40
	183	3.05	.91	.08	6.95	93	60	1.45	60
St. 38	0	7.04	33.12	8.18	7.15	103	26	0.75	0
	10	6.90	.19	.20	.13	103	22	.90	0
42°38′N	25	6.16	.33	.20	.03	100	37	.90	2
133 30 E	50	6.09	.39	.18	.00	99	29	.95	1
124m(8°)	75	6.03	.53	.18	.01	99	33	1.00	2
VI, 20(3^{19})	100	6.06	.49	.18	.06	100	38	1.10	1
	119	6.06	.49	.18	.16	102	44	0.70	0
St. 39(No. 1)	0	6.84	33.46	8.18	7.06	102	26	0.95	0
	10	6.56	.46	.20	.02	101	26	1.15	1
42°45′N	25	6.57	.48	.20	6.92	99	29	0.85	1
134 00 E	50	6.68	.71	.20	.98	101	29	0.90	1
176m(0°)	75	6.67	.73	.20	.93	100	33	0.85	2
	100	6.18	.73	.18	.95	99	34	1.15	12
VI, 20(6^{45})	150	2.45	34.02	.02	.90	91	63	1.40	125
	170	1.82	.02	.00	.70	87	82	1.60	140
St. 39(No. 2)	0	7.29	33.19	8.18	7.16	104	24	0.85	0
	10	6.85	.48	.22	7.10	103	29	.80	0
42°45′N	25	6.71	.77	.18	6.91	100	29	.85	1
134 00 E	50	6.56	.77	.18	.93	100	30	.90	6
178m(0°)	75	6.23	.82	.18	.88	98	34	1.10	11
	100	3.59	.86	.10	.99	94	54	1.25	45
VI, 20(12^{05})	150	2.47	34.02	.02	.90	91	67	1.40	90
	170	2.06	.04	.02	.82	89	78	1.35	135
St. 39(No. 3)	0	7.95	32.86	8.18	6.97	103	29	1.05	0
	10	7.17	33.66	.20	7.04	103	30	1.05	0
42°45′N	25	6.92	.84	.20	.02	102	33	0.95	1
134 00 E	50	6.81	.87	.20	6.88	100	29	0.80	2
179m(5°)	75	5.69	.84	.14	.95	98	37	0.95	26
	100	3.53	.91	.08	7.00	94	60	1.20	60
VI, 20(16^{22})	150	2.02	34.04	.00	6.77	88	76	1.60	140
	170	1.82	.05	.00	.75	87	82	1.80	165
	0	7.76	33.35	8.18	6.77	100	26	0.90	0
St. 40	10	7.49	.84	.20	.96	102	26	.75	0
	25	6.97	.89	.20	7.01	102	26	.90	1

St.; Depth; Date & Time	Depth m	Temp. °C	Sal. ‰	pH	O_2 cc/L	O_2/O'_2 %	P_2O_5 mg/m^3	SiO_2 mg/L	N_2O_5-N mg/m^3
42°30′N	50	6.72	33.87	8.16	7.05	102	29	0.90	5
133 40 E	75	4.05	.96	.10	6.97	95	46	1.10	35
1095m$_{(4^\circ)}$	100	2.71	34.07	.00	.75	89	69	1.60	130
	150	1.48	.05	7.92	.54	84	102	1.90	165
VI, 20(19^{08})	200	1.05	.05	.88	.34	81	112	2.15	180
	300	0.71	.05	.82	5.88	74	120	2.85	235
	400	.41	.11	.80	.66	71	128	3.35	285
	500	.28	.09	.78	.58	69	132	3.55	275
	600	.24	.07	.78	.56	69	132	3.95	285
	1000	.21	.09	.78	.48	68	132	3.60	270
	0	8.20	33.87	8.18	6.92	103	29	0.85	1
St. 41	10	7.07	.89	.14	7.17	105	33	.95	1
	25	6.73	.89	.14	.12	103	34	1.05	10
42°15′N	50	2.62	34.02	.00	.03	92	72	1.30	85
133 20 E	75	1.57	.07	7.94	6.66	86	88	1.90	175
>1130m$_{(18^\circ)}$	100	1.22	.09	.90	.57	84	92	1.85	185
	150	0.83	.05	.86	.56	83	99	2.50	230
VI, 20(21^{45})	200	.60	.07	.82	.05	76	118	2.90	250
	300	.37	.07	.80	5.75	72	132	3.20	250
	400	.26	.07	.78	.58	70	137	3.35	250
	500	.18	.07	.78	.58	69	133	3.35	265
	600	.16	.07	.78	.40	67	128	3.50	—
	1000	.14	.07	.80	.42	67	132	3.85	250
	0	9.33	33.91	8.18	6.89	105	33	0.70	1
St. 42	10	7.59	.95	.18	7.10	105	34	.85	1
	25	7.15	.89	.16	.15	105	38	.70	1
42°00′N	50	3.36	34.02	.02	.18	96	60	1.15	55
133 00 E	75	1.82	.02	.00	.23	93	82	1.35	110
>1000m$_{(18^\circ)}$	100	1.44	.05	7.98	.10	91	82	1.50	90
	150	0.86	.05	.88	6.61	84	110	2.40	200
VI, 21(0^{27})	200	.69	.09	.88	.61	83	112	2.60	190
	300	.37	.07	.80	5.81	73	137	3.15	230
	400	.26	.07	.78	.74	71	136	3.35	240
	500	.17	.07	.78	.61	70	140	3.35	225
	600	.15	.05	.78	.73	71	141	3.80	230
	1000	.14	.09	.78	.78	72	141	3.70	255
	0	9.46	33.84	8.18	7.15	109	33	0.70	10
St. 43	10	7.56	.84	.16	.22	106	37	.75	10
	25	7.28	.86	.14	.17	105	33	.90	12
42°00′N	50	2.90	34.02	.04	.20	95	73	1.15	95
132 00 E	75	1.53	.04	.00	.10	91	80	1.55	110
>1000m$_{(1^\circ)}$	100	1.18	.07	7.96	.05	90	88	1.75	115
	150	0.88	.09	.86	6.52	82	107	2.30	205
VI, 21(5^{35})	200	.69	.05	.84	.17	78	116	2.80	250
	300	.40	.05	.80	5.78	72	128	3.20	240
	400	.30	.07	.78	.64	70	136	3.25	260
	500	.22	.07	.76	.58	69	141	3.45	240
	600	.18	.07	.76	.59	69	144	3.70	250
	1000	.15	.05	.78	.64	70	141	3.75	235
	0	10.69	33.68	8.20	6.85	107	30	0.65	2
St. 44	10	8.41	.68	.20	7.15	107	33	.70	4
	25	7.54	.66	.20	.28	107	33	.75	4
42°01′N	50	3.04	.91	.10	.35	98	46	.95	50
131 00 E	75	2.94	34.02	.06	.31	97	64	1.00	95
>1000m$_{(11^\circ)}$	100	1.88	.02	.06	.32	95	67	1.15	100
	150	1.04	.05	7.92	6.94	88	94	1.70	200
VI, 21(11^{02})	200	0.73	.05	.86	.52	82	103	2.30	250
	300	.35	.05	.82	.10	76	118	2.80	—
	400	.24	.04	.80	5.88	73	123	2.85	235
	500	.18	.07	.78	.77	72	136	3.25	285
	600	.18	.09	.78	.67	70	132	3.65	285
	1000	.15	.09	.78	.56	69	146	3.85	285

St. 50	0	14.08	32.29	8.24	6.59	109	22	0.80
	10	10.52	33.40	.22	.94	108	22	1.00
41°48′N	25	7.75	.87	.20	7.24	107	24	0.70
130 04 E	50	7.10	.89	.18	6.84	100	24	1.15
217m(4°)	75	3.25	.91	.06	7.13	95	52	1.10
	100	2.31	34.00	.02	.00	91	60	1.10
VI, 30 (8^{59})	150	1.28	.04	.00	.04	90	64	1.85
	200	1.14	.02	.00	.09	90	72	1.75
	0	14.10	32.03	8.24	6.34	105	8	1.10
St. 51(No. 1)	10	10.97	33.28	.22	.88	108	18	0.80
41°46′N	25	7.73	.84	.18	7.28	107	29	.70
129 57 E	50	6.76	.84	.14	6.83	99	38	1.10
112m(3°)	75	2.93	.84	.04	.96	91	52	1.25
VI, 30 (9^{56})	100	2.77	.91	.04	.99	92	58	1.40
	0	16.01	32.09	8.22	6.37	109	12	0.95
St. 51(No. 2)	10	8.47	33.46	.20	7.18	107	24	.70
41°46′N	25	6.93	.55	.14	6.89	100	34	.90
129 57 E	50	7.15	.84	.14	.90	101	38	.70
VI, 30 (16^{07})	75	2.92	.84	.02	.93	92	50	1.30
	100	2.99	.91	.02	7.23	96	54	1.35
St. 52	0	15.92	32.01	8.20	6.41	109	11	0.90
	10	12.81	.97	.22	.83	111	16	.95
	25	7.75	33.53	.18	7.14	105	34	1.10
41°15′N	50	4.87	.68	.10	6.84	95	46	1.35
129 50 E	75	3.53	.69	.08	.93	93	46	1.20
579m	100	3.11	.89	.04	7.10	95	54	1.30
	150	1.84	34.00	.00	.24	93	63	1.30
VII, 2 (9^{41})	200	1.28	.02	.00	.16	91	76	1.60
	370	0.64	.02	7.90	6.76	85	63	2.10
St. 53	0	11.56	33.22	8.20	6.89	109	18	0.55
	10	9.06	.39	.20	7.18	109	24	.60
40°55′N	25	7.19	.64	.20	.10	103	30	.75
129 49 E	50	6.07	.73	.10	6.93	99	38	1.05
158m(7°)	75	3.27	.84	.04	7.01	94	50	1.25
VII, 4 (10^{07})	100	2.21	.96	.00	6.99	91	58	1.40
	156	1.43	34.00	.00	7.00	90	67	1.50
St. 57	0	17.22	32.86	8.24	6.32	111	11	0.80
	10	12.47	33.24	.22	7.14	115	18	.85
	25	8.49	.68	.20	.32	110	22	.90
40°30′N	50	4.74	.73	.12	.18	93	38	.95
129 36 E	75	3.02	.89	.06	.13	95	50	1.30
686m(7°)	100	2.34	.89	.04	.18	94	56	1.40
	150	1.11	34.00	7.98	.13	90	50	1.90
VII, 3 (10^{50})	200	0.93	.00	.96	.04	89	—	1.90
	300	.56	.00	.90	.24	91	—	2.40
	400	.25	.00	.86	6.60	82	99	2.60
	650	.16	.02	.80	5.70	71	114	3.50
	0	16.92	33.48	8.22	5.94	104	12	0.80
St. 58	10	13.47	.48	.22	6.32	104	16	.85
	25	6.31	.78	.20	8.02	115	20	1.00
40°20′N	50	2.80	.93	.02	7.23	95	20	1.25
130 00 E	75	1.33	.95	.00	.20	92	64	1.45
>1000m(11°)	100	0.92	34.00	7.98	.18	91	78	1.55
	150	.56	.00	.90	6.98	87	86	1.95
VII, 4 (13^{28})	200	.56	.00	.86	.71	84	98	2.25
	300	.53	.02	.82	.02	75	88	2.50
	400	.37	.02	.80	5.77	72	118	3.05
	600	.18	.02	.78	.66	70	123	3.50
	1000	.14	.04	.78	.62	70	136	3.95
	0	17.59	33.64	8.20	6.06	108	11	0.85
St. 59	10	12.77	.68	.20	.71	109	11	.90
	25	8.46	.80	.18	(9.20)	(138)	18	1.25

St.; Depth; Date & Time	Depth m	Temp. °C	Sal. ‰	pH	O_2 cc/L	O_2/O'_2 %	P_2O_5 mg/m^3	SiO_2 mg/L	N_2O_5-N mg/m^3
40°07′N	50	2.93	33.98	8.00	7.26	96	46	1.35	
130 30 E	75	1.27	34.00	7.92	6.99	89	86	1.90	
>1000m(14°)	100	0.59	.00	.88	.82	85	94	1.90	
	150	.45	.00	.88	.70	84	98	2.15	
VII, 4 (16^{47})	200	.43	.02	.84	.25	78	103	2.20	
	300	.32	.00	.82	.23	77	103	2.50	
	400	.19	.02	.80	5.93	74	112	3.00	
	600	.13	.05	.76	.63	70	—	3.30	
	1000	.13	.05	.78	.59	69	136	3.50	
	0	18.50	33.64	8.24	5.65	102	4	0.90	
St. 60	10	15.70	.66	.20	6.10	119	7	0.90	
	25	7.22	.86	.20	7.82	114	8	1.25	
39°53′N	50	2.77	.93	7.98	6.84	90	12	1.50	
130 59 E	75	1.47	.98	.90	.82	87	69	1.70	
>1000m(3°)	100	1.02	34.00	.88	.72	85	92	1.90	
	150	0.55	.02	.86	.75	85	94	2.50	
VII, 4 (20^{19})	200	.36	.00	.84	.40	80	107	2.55	
	300	.29	.00	.82	.24	78	116	3.25	
	400	.19	.04	.78	5.38	72	(72)	3.25	
	600	.15	.02	.76	.72	71	118	3.30	
	1000	.14	.02	.78	.65	70	133	3.45	
	0	19.09	33.86	8.24	5.33	97	0	0.90	
St. 61	10	18.63	.84	.24	.44	98	3	.55	
	25	13.65	34.00	.24	6.51	108	8	.70	
39°39′N	50	7.61	.07	.04	.15	91	44	1.00	
131 31 E	75	3.68	.00	.02	.65	90	46	1.35	
>1000m(14°)	100	3.16	.00	7.90	—	—	64	1.60	
	150	1.59	.02	.86	—	—	64	2.10	
VII, 4 (23^{35})	200	0.93	.02	.82	—	—	110	2.30	
	300	.48	.02	.82	—	—	116	2.60	
	400	.30	.02	.80	6.09	76	116	2.80	
	600	.20	.05	.76	—	—	114	3.15	
	1000	.15	.04	.78	5.76	71	123	3.70	
	0	18.99	34.00	8.30	5.29	97	0	0.85	
St. 62	10	18.64	33.95	.26	.42	98	0	1.10	
	25	15.84	34.02	.24	6.02	104	4	1.15	
39°26′N	50	8.24	.18	.22	5.71	85	18	1.15	
131 59 E	75	5.64	.00	.00	6.17	87	18	1.15	
>100m(3°)	100	3.96	.00	7.98	.60	90	50	1.25	
	150	2.18	.02	—	.31	82	63	1.75	
VII, 5 (2^{53})	200	1.07	.02	—	.01	76	82	1.95	
	300	0.52	.04	—	5.74	72	118	2.45	
	400	.32	.02	—	.78	72	120	2.45	
	600	.19	.02	—	.63	70	(99)	(2.25)	
	1000	.12	.02	—	.62	70	125	3.50	
	0	20.41	33.84	8.30	5.18	97	3	1.00	
St. 63	10	18.93	.78	.30	.76	104	7	0.65	
	25	15.10	34.00	.24	.78	99	12	1.10	
38°54′N	50	8.98	.05	.08	.94	105	16	0.80	
131 59 E	75	5.12	.00	.02	.20	86	22	1.45	
>1000m(12°)	100	3.76	.00	.02	.16	82	69	1.70	
	150	1.47	.00	7.88	.19	79	86	1.75	
VII, 5 (6^{43})	200	0.85	.00	.88	.27	79	92	1.75	
	300	.49	.04	.80	.04	76	103	2.30	
	400	.31	.05	.80	5.79	72	114	2.65	
	600	.18	.02	.76	.60	69	123	3.35	
	1000	.14	.02	.78	.64	70	129	3.85	
	0	20.86	33.98	8.32	5.05	95	0	0.85	
St. 64	10	20.38	.96	.32	.18	97	3	.85	
	25	18.71	34.05	.24	.52	100	8	.80	
	50	15.42	.20	.20	.26	90	20	1.10	

38°22′N	75	13.22	34.29	8.12	4.56	75	46	1.40
131 59 E	100	6.38	.00	.12	6.73	97	33	1.35
>1000m(11°)	150	2.56	33.93	7.94	.58	81	67	1.35
	200	1.77	.95	.90	.26	80	80	1.60
VII, 5 (10^{30})	300	0.69	34.00	.84	.12	76	98	2.25
	400	.44	.00	.80	5.86	73	106	2.60
	600	.21	.02	.76	.73	71	118	3.00
	1000	—	.02	.76	.58	69	132	3.35
	0	19.91	33.86	8.34	5.43	100	0	1.00
St. 65	10	18.96	.82	.32	.44	99	0	0.70
	25	16.20	.87	.30	6.12	106	3	0.65
37°50′N	50	8.67	34.09	.12	.27	95	29	1.15
132 00 E	75	4.97	.00	.08	.50	90	—	—
>1000m(6°)	100	3.24	.00	7.96	.20	83	64	1.55
	150	1.56	.00	.88	.14	79	82	1.70
VII, 5 (14^{36})	200	0.95	.00	.84	5.92	75	82	2.25
	300	.51	.00	.80	.92	74	98	2.35
	400	.30	.00	.78	.71	71	98	2.80
	600	.19	.02	.74	.67	70	(82)	3.25
	1000	.13	.02	.76	.58	69	120	3.45
	0	20.36	33.98	8.30	5.23	93	0	0.80
St. 66	10	19.19	.96	.32	.26	96	0	.85
	25	14.62	34.23	.26	6.25	106	11	1.10
37°30′N	50	7.38	.07	.14	.15	90	50	1.25
132 00 E	75	4.28	.02	.00	5.96	82	64	1.70
>1000m(7°)	100	2.87	.00	7.98	.20	82	69	1.75
	150	1.23	.00	.86	.20	79	86	1.90
VII, 5 (16^{51})	200	0.79	.00	.86	.04	76	92	2.20
	300	.50	.02	.82	5.79	72	116	2.50
	400	.31	.02	.80	.60	70	118	3.05
	600	.19	.02	.78	.47	68	125	3.15
	1000	.14	.02	.78	.48	68	129	3.50
	0	19.98	33.86	8.34	5.23	97	0	0.70
St. 67	10	19.22	.95	.34	.28	97	0	.65
	25	17.73	34.16	.30	.59	100	7	.80
37°00′N	50	8.27	.16	.20	6.43	96	29	1.20
132 00 E	75	4.90	.00	.06	.18	86	44	1.20
>1000m	100	3.04	.00	7.98	.40	85	56	1.45
	150	1.38	.00	.90	.28	80	88	1.65
VII, 5 (20^{34})	200	0.87	.00	.88	.34	80	92	2.10
	300	.53	.00	.80	5.52	69	125	2.65
	400	.29	.02	.80	.49	68	136	3.00
	600	.17	.04	.78	.40	67	(82)	3.55
	1000	.13	.04	.78	.47	68	132	3.55
	0	19.65	34.05	8.34	5.23	97	7	0.65
St. 68	10	19.04	.11	.34	.33	97	4	.80
	25	16.51	.23	.32	.61	98	7	.85
36°29′N	50	9.25	.16	.14	.80	89	38	1.35
132 00 E	75	5.53	.00	.02	.87	83	(29)	1.35
>1000m(6°)	100	2.82	.00	7.98	6.37	84	67	1.45
	150	1.46	.00	.90	.04	77	60	1.90
VII, 6 (0^{23})	200	0.87	.00	.88	.14	78	80	2.20
	300	.46	.00	.80	5.47	68	112	2.75
	400	.27	.00	.78	.42	68	(73)	3.30
	600	.17	.02	.76	.37	67	(92)	3.45
	1000	.13	.04	.78	.46	68	125	3.70
	0	20.37	33.64	8.34	5.12	95	16	0.80
St. 69	10	20.13	.86	.32	.14	95	12	.85
	25	17.90	34.16	.30	.47	98	12	.70
35°58′N	50	15.67	.38	.22	4.69	81	42	1.15
131 59 E	75	14.92	.42	.20	.31	74	50	1.05
619m(12°)	100	13.76	.42	.22	5.18	87	42	1.15
VII, 6 (4^{21})	150	10.53	.36	.16	.65	88	38	1.15
	200	5.25	.00	.06	6.05	85	58	1.60

St.; Depth; Date & Time	Depth m	Temp. °C	Sal. ‰	pH	O_2 cc/L	O_2/O'_2 %	P_2O_5 mg/m^3	SiO_2 mg/L	N_2O_5-N mg/m^3
	300	1.21	34.00	7.84	6.05	77	107	1.95	
	400	0.52	.00	.84	5.76	72	118	2.45	
	500	.38	.00	.78	.68	71	114	2.50	
	600	.29	.00	.82	.69	71	125	2.35	
St. 70	0	21.76	33.49	8.34	4.95	94	11	0.85	
	10	21.36	.49	.34	5.22	99	11	.90	
35°28′N	25	20.44	34.22	.32	.06	93	12	.90	
131 59 E	50	18.79	.38	.30	4.75	86	11	.90	
163m (8°)	75	16.72	.38	.28	5.04	89	20	.95	
	100	16.03	.45	.24	4.65	81	20	1.35	
Ⅶ, 6 (7[44])	150	9.31	.23	.12	5.38	82	60	1.60	
	815	8.21	.22	.12	.54	83	67	2.65	
St. 71	0	22.46	32.05	8.34	4.98	95	4	1.00	
	10	21.13	33.58	.34	5.05	95	3	0.90	
35°00′N	26	20.80	.96	.34	.02	94	7	1.10	
132 00 E	50	20.10	34.33	.32	4.90	91	12	0.85	
126m (2°)	75	19.37	.40	.32	.79	88	26	1.05	
Ⅶ, 6 (10[44])	100	18.83	.45	.32	.65	85	33	1.15	
	121	18.00	.42	.30	.79	86	30	1.30	

〔Ⅲ〕 Ms 8. South-western part of the Japan Sea (1), Aug., 1935.

St.; Depth; Date & Time	Depth m	Temp. °C	Sal. ‰	pH	O_2 cc/L	O_2/O'_2 %	P_2O_5 mg/m^3	SiO_2 mg/L	N_2O_5-N mg/m^3
St. 28	0	26.11	32.75	8.34	4.63	95	0	0.90	8
35°45′N	10	26.18	74	34	58	94	3	.70	24
130 30 E	25	23.59	33.37	34	5.17	102	8	.70	13
78m (6°)	50	20.56	73	32	4.88	91	14	.90	12
Ⅷ, 13 (8[32])	73	19.49	34.25	32	51	83	27	1.10	46
St. 29	0	25.30	32.79	8.32	4.67	94	6	0.85	8
	10	25.32	79	32	73	95	8	.65	18
36°00′N	25	22.57	33.62	32	98	96	12	.75	16
130 30 E	50	19.46	34.18	30	84	89	18	.90	19
175m (16°)	75	17.71	40	20	60	82	30	1.10	57
Ⅷ, 13 (10[32])	100	16.30	38	18	35	76	36	1.25	84
	170	7.39	20	00	5.06	74	69	1.80	265
St. 30	0	25.74	32.66	8.34	4.65	94	6	0.75	6
	10	25.67	66	34	69	95	3	.90	15
36°15′N	25	22.96	33.37	32	5.16	100	8	1.00	5
130 30 E	50	20.14	34.09	32	4.93	92	14	1.00	6
151m (10°)	75	16.86	40	22	53	80	12	1.15	6
Ⅷ, 13 (12[35])	100	15.37	43	12	14	71	48	1.35	140
	146	10.08	29	12	5.19	81	—	1.25	—
St. 31	0	26.27	31.91	8.40	4.56	94	2	0.90	3
	10	26.08	94	38	59	93	3	.90	6
	25	24.40	33.55	36	86	97	6	1.30	6
36°01′N	50	16.84	34.22	32	5.82	102	12	1.15	6
133 30 E	75	13.10	40	22	34	87	26	1.25	44
327m (2°)	100	8.57	22	16	57	84	50	1.25	125
	150	3.24	13	7.94	92	79	—	1.95	—
Ⅷ, 14 (15[12])	200	1.20	09	86	81	74	96	2.40	215
	300	0.44	07	84	68	71	99	2.80	300
	322	.43	09	84	66	71	104	3.10	315
	0	25.83	32.10	8.40	4.59	93	9	1.05	5
	10	25.81	12	40	67	94	11	0.95	10
St. 32	25	19.65	33.91	38	3.28	61	11	1.10	17
	50	16.60	34.27	22	91	69	9	1.25	30

36°00′N	75	15.88	34.40	8.20	3.97	69	17	1.30	43
131 01 E	100	15.34	47	18	4.10	70	9	1.25	(10)
839m (13°)	150	12.06	42	18	84	78	48	1.25	140
	200	5.18	09	12	6.07	85	53	1.55	150
VIII, 14 (18^{13})	300	1.25	05	7.92	5.96	76	78	2.00	260
	400	0.74	13	86	95	75	93	2.30	270
	500	.48	07	84	73	72	102	2.90	275
	600	.37	09	82	67	71	111	3.15	285
	834	.13	07	76	34	66	—	4.50	350
	0	26.01	32.18	8.40	4.64	94	2	0.90	6
St. 33	10	26.09	14	40	72	96	5	.90	8
	25	22.29	33.39	36	5.32	102	9	1.40	8
35°59′N	50	17.49	34.23	34	4.92	88	26	1.50	23
131 3 E	75	16.29	42	22	22	74	45	1.15	140
971m (10°)	100	15.64	40	22	21	73	54	1.35	155
	150	4.35	07	00	6.07	83	66	1.60	155
VIII, 14 (21^{45})	200	2.08	07	7.92	02	78	81	2.10	215
	300	0.47	07	82	5.77	72	98	2.60	275
	400	.34	09	82	66	71	107	2.60	365
	500	.22	09	80	55	69	105	3.05	365
	600	.16	07	78	54	69	111	3.25	395
	966	.12	07	—	41	67	119	3.60	385
	0	26.54	32.00	8.40	4.62	94	5	0.90	6
St. 34	10	26.61	00	38	59	94	6	90	7
	25	21.48	33.21	38	5.46	103	9	95	5
36°00′N	50	17.19	34.23	20	4.03	72	12	1.10	9
131 00 E	75	16.54	42	20	08	72	33	1.25	111
>1000m (10°)	100	15.71	42	18	08	71	36	1.30	111
	150	13.47	11	02	5.87	97	56	1.60	160
VIII, 15 (1^{20})	200	1.84	07	7.88	94	76	77	2.00	250
	300	0.68	11	84	92	75	75	2.45	230
	400	.46	07	82	81	73	99	2.50	—
	500	.28	09	82	66	71	99	2.90	290
	600	.23	07	82	53	69	111	3.10	370
	1000	.13	07	82	50	68	(96)	3.45	(240)
	0	25.49	32.18	8.38	4.73	95	3	0.95	3
St. 35	10	23.72	63	38	97	97	11	—	6
	25	18.05	34.18	22	27	77	29	1.25	73
36°01′N	50	16.49	22	20	11	72	41	1.35	115
130 30 E	75	16.34	40	18	3.98	64	45	1.40	145
>1000m (28°)	100	15.94	49	18	78	66	48	1.60	165
	150	13.90	23	7.98	4.85	81	63	1.95	240
VIII, 15 (4^{35})	200	1.94	05	90	6.22	81	71	2.00	175
	300	0.73	07	86	23	78	—	2.40	—
	400	.54	07	82	5.71	71	102	2.60	340
	500	.32	07	82	68	71	105	2.70	365
	600	.24	07	82	53	69	116	3.10	375
	1000	.13	09	82	49	68	—	3.65	—
	0	24.93	31.96	8.38	4.79	95	6	1.10	4
St. 36	10	23.77	32.83	38	88	96	11	1.10	7
	25	21.77	33.33	36	5.19	99	15	1.35	6
36°00′N	50	15.41	39	32	27	90	18	1.50	3
129 59 E	75	4.71	34.11	7.92	59	77	74	1.75	205
>1000m (13°)	100	4.36	07	88	99	82	74	1.75	205
	150	4.33	09	88	6.18	85	86	2.05	205
VIII, 15 (8^{35})	200	0.80	11	86	20	78	92	2.20	255
	300	.47	07	84	06	76	101	2.65	265
	400	.39	09	82	5.87	73	107	2.80	265
	500	.25	07	82	65	71	111	3.10	345
	600	.20	11	82	58	69	108	3.25	350
	1000	.13	11	82	55	69	111	3.45	350
	0	25.04	31.76	8.40	4.71	94	5	1.00	2
St. 37	10	25.62	94	38	74	96	9	1.15	7
	25	16.40	33.89	24	88	85	30	1.20	36

St; Depth; Date & Time	Depth m	Temp. °C	Sal. ‰	pH	O_2 cc/L	O_2/O'_2 %	P_2O_5 mg/m^3	SiO_2 mg/L	N_2O_5-N mg/m^3
35°30′N	50	15.14	34.27	18	03	69	47	1.40	116
130 00 E	75	14.85	25	18	11	70	47	1.55	118
184m (5°)	100	8.62	23	7.98	79	72	—	1.90	—
VIII, 16 (7^{30})	150	4.17	14	92	5.74	79	72	1.90	195
	179	2.07	05	88	6.30	82	83	1.85	180
St. 38	0	25.38	32.12	8.40	4.74	95	5	0.85	4
	10	25.29	10	38	73	95	8	.85	6
35°00′N	25	21.45	33.35	34	5.05	96	14	.70	6
130 00 E	50	16.75	34.34	22	4.00	71	29	1.15	80
133m (7°)	75	16.20	34	22	04	70	42	1.25	115
VIII, 16 (10^{55})	100	15.58	42	20	3.86	67	50	1.55	180
	128	11.46	33	14	4.29	69	63	1.85	180
St. 39	0	27.12	32.07	8.40	4.59	95	2	0.60	5
	10	26.95	12	40	63	96	3	.65	5
35°00′N	25	25.44	45	36	75	96	9	.75	12
129 30 E	50	15.80	33.78	20	97	86	21	1.00	10
166m (20°)	75	15.82	34.43	16	3.79	66	50	1.30	145
VIII, 16 (13^{56})	100	15.11	45	14	78	66	51	1.40	145
	161	2.94	11	7.92	5.79	76	87	2.05	180
St. 40	0	27.10	31.22	8.40	4.59	96	5	0.70	5
35°00′N	10	27.16	24	40	61	96	8	.75	5
129 15 E	25	22.56	32.61	34	5.64	108	12	.90	5
102m (3°)	50	15.85	34.27	32	4.02	70	18	1.15	29
VIII, 16 (15^{37})	75	13.11	42	04	13	68	53	1.30	165
	98	8.85	23	02	5.08	77	54	1.60	170

〔IV〕 Ms 9. South-western part of the Japan Sea (2), Apr., 1936.

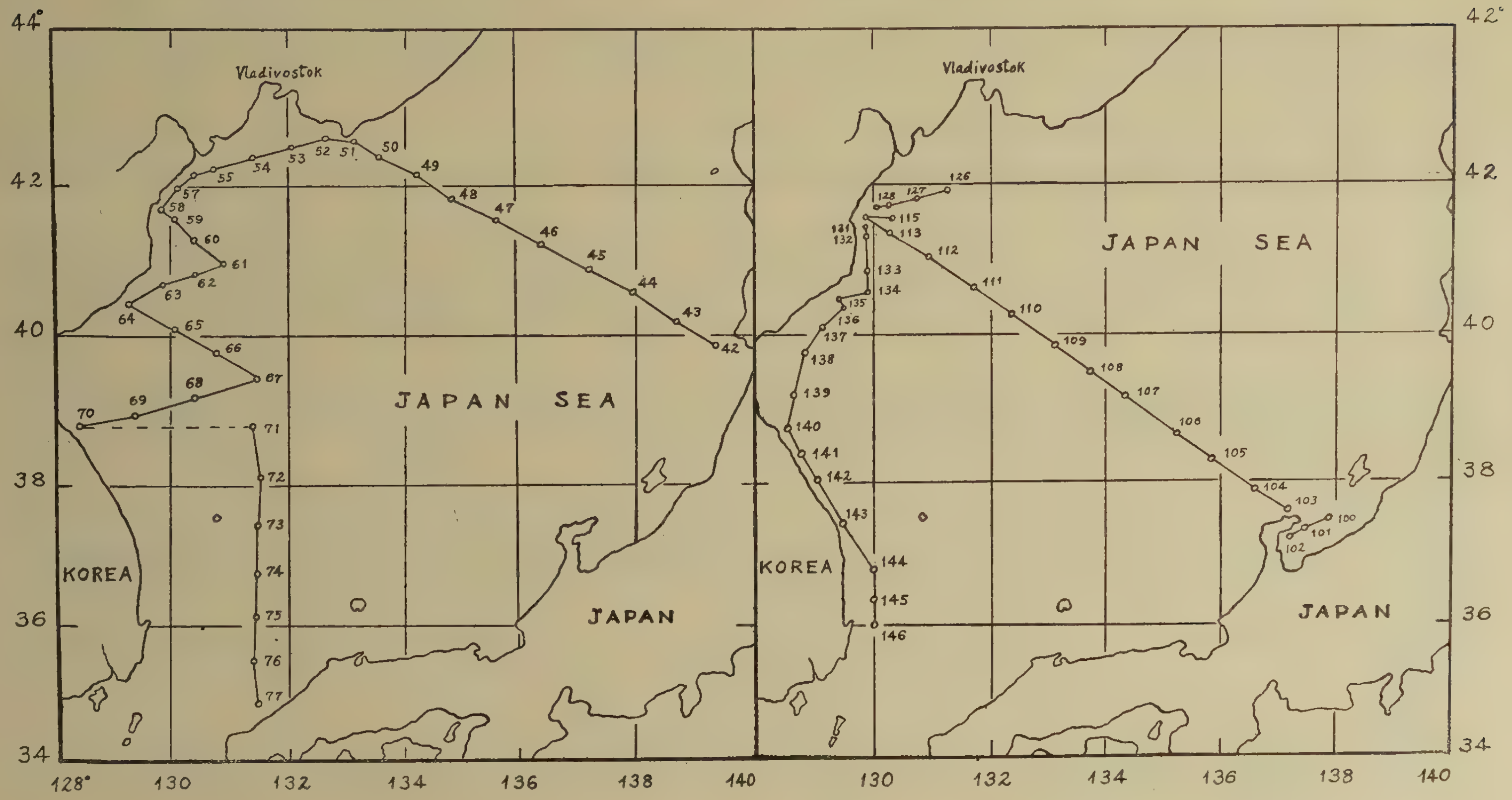
St.; Depth; Date & Time	Depth m	Temp. °C	Sal. ‰	pH	O_2 cc/L	O_2/O'_2 %
St. 10	0	11.05	34.25	8.34	6.42	102
35°39′N	10	11.20	25	34	58	105
133 20 E	25	11.25	43	32	13	98
60m. IV, 12	55	11.25	42	32	33	101
St. 11	0	10.94	34.51	8.36	6.12	97
35°53′N	10	11.10	47	36	—	—
133 20 E	25	11.10	49	36	27	100
88m (9°)	50	11.08	47	34	14	98
IV, 12 (15^{05})	75	11.06	47	34	13	97
	83	10.66	45	32	13	97
St. 12	0	10.65	34.45	8.32	6.26	99
	10	10.89	43	32	09	97
36°08′N	25	10.89	43	32	26	99
133 21 E	50	10.84	43	32	27	99
145m (4°)	75	10.83	43	32	35	100
IV, 12 (16^{57})	100	10.81	47	32	21	98
	140	10.13	42	32	18	96
St. 13	0	11.51	34.49	8.32	6.19	99
36°10′N	10	11.57	47	32	21	100
133 00 E	25	11.58	47	32	25	100
103m (7°)	50	11.60	45	32	31	101
IV, 14 (8^{52})	75	11.73	58	32	14	99
	98	11.77	54	32	02	97
St. 14	0	11.56	34.47	8.34	6.23	100
	10	11.47	54	34	31	101
	25	11.46	52	34	28	101

36°01′N	50	11.21	34.49	8.34	6.25	100
132 31 E	75	11.21	52	34	02	96
282m (5°)	100	10.59	45	26	06	95
	150	4.44	05	14	71	92
IV, 14 (11^{45})	200	2.32	00	7.94	27	82
	277	0.95	04	88	07	77
	0	11.58	34.56	8.32	6.25	100
St. 15	10	11.41	52	32	32	101
	25	9.37	31	28	39	98
36°00′N	50	7.67	22	18	19	92
132 00 E	100	3.38	00	02	38	85
989m (17°)	200	1.32	02	7.90	38	81
	400	0.62	02	84	5.78	72
IV, 14 (15^{20})	600	.44	05	82	64	70
	979	.13	05	78	62	70
	0	10.48	34.40	8.32	6.42	101
St. 16	10	10.53	40	32	49	102
	25	9.80	38	32	56	101
36°30′N	50	9.34	31	28	53	100
131 40 E	100	5.82	09	16	42	91
1835m (19°)	200	1.40	05	7.92	26	80
	400	0.46	05	82	5.58	70
IV, 14 (18^{58})	600	.23	11	82	58	70
	1000	.15	09	80	64	70
	0	11.95	34.58	8.34	6.35	103
St. 17	10	12.09	52	34	26	101
	25	11.94	58	34	43	104
35°58′N	50	10.65	47	32	31	100
131 22 E	100	7.57	16	24	89	102
1113m (42°)	200	4.86	13	12	46	90
	400	0.85	05	7.88	28	79
IV, 14 (23^{15})	600	.40	05	82	5.87	73
	1000	.17	04	82	63	70
	0	11.76	34.52	8.34	6.31	102
St. 18	10	11.87	54	34	13	99
	25	11.90	52	32	20	100
35°59′N	50	11.46	54	32	12	98
130 43 E	100	9.67	36	24	5.99	92
1544m (34°)	200	1.95	00	7.92	6.43	83
	400	0.50	02	84	5.92	74
IV, 15 (3^{30})	600	.23	04	82	67	71
	1000	.15	05	82	64	70
	0	10.59	34.47	8.32	6.45	102
St. 19	10	10.68	47	32	50	103
	25	10.30	42	32	52	102
36°00′N	50	8.50	22	24	65	100
130 03 E	100	5.10	05	12	65	93
1393m (5°)	150	2.74	02	02	62	87
	200	1.30	00	7.90	60	84
IV, 15 (7^{48})	400	0.43	02	82	5.93	74
	600	.33	04	82	71	71
	1000	.16	05	82	64	70
	1350	.15	05	82	59	69
	0	7.67	34.07	8.24	6.85	101
St. 20	10	7.47	09	24	88	101
	20	7.29	09	24	79	100
36°00′N	50	7.04	05	22	60	96
129 40 E	75	6.45	05	22	59	95
144m (7°)	100	4.76	02	16	59	91
IV, 15 (10^{48})	139	1.43	05	7.94	39	82
	0	11.45	34.52	8.34	6.22	104
St. 21	10	11.48	49	34	18	99

St.; Depth; Date & Time	Depth m	Temp. °C	Sal. ‰	pH	O_2 cc/L	O_2/O'_2 %
35°41′N	25	11.02	34.47	8.32	20	98
	50	8.92	34	24	10	93
129 38 E	75	6.67	09	18	57	95
122m (10°)	100	5.12	33.98	14	62	92
IV, 15 (13[10])	117	4.10	96	12	59	90
St. 22	0	11.66	34.49	8.34	6.10	98
35°18′N	10	11.79	52	32	10	98
129 29 E	25	11.80	52	32	05	98
109m (7°)	50	11.60	49	32	00	96
IV, 16 (7[05])	75	10.84	47	26	5.92	94
	104	6.44	13	14	6.23	90

Text-fig. 4. Observation stations (2)

〔V〕 Ms 10. Observation stations in the Japan Sea (1), July, 1936.　　〔VI〕 Ms 11. Observation stations in the Japan Sea (2), June, 1940.



〔V〕 Ms 10. Observation in the Japan Sea (1), July, 1936.

St., Depth; Date & Time	Depth m	Temp. °C	Sal. ‰	pH	O_2 cc/L	O_2/O'_2 %
St. 42	0	19.40	33.06	8.40	5.20	95
	10	19.01	91	38	31	97
39°56′N	25	18.09	34.11	38	64	101
139 33 E	50	12.73	25	38	6.00	98
326m (3°)	100	10.16	25	34	5.73	88
VII, 5 (19^{47})	200	8.28	18	30	86	89
	321	2.69	02	00	91	78
	0	15.25	33.89	8.34	5.79	99
St. 43	10	15.37	93	34	6.11	105
	25	14.95	93	34	06	103
40°16′N	50	4.85	96	22	7.61	106
138 46 E	100	2.60	34.05	02	6.23	82
2965m (25°)	200	1.08	02	7.96	53	83
	400	0.35	05	92	—	—
VII, 6 (0^{08})	600	.18	05	86	—	—
	1000	.16	07	86	—	—
	2445	.19	05	88	—	—
	2945	.22	05	96	—	—
	0	—	33.84	8.32	—	—
St. 44	10	14.69	84	30	6.13	104
	25	7.36	91	28	8.03	118
40°35′N	50	2.57	34.02	08	6.86	90
138 00 E	200	0.47	02	7.90	62	83
3405m (37°)	400	.21	04	88	5.95	74
	1000	.14	05	84	—	—
VII, 6 (5^{13})	2385	.19	04	84	—	—
	3385	.26	04	82	—	—
	0	14.32	33.93	8.30	5.84	98
St. 45	10	14.47	91	30	93	100
	25	7.02	91	24	8.22	120
40°55′N	50	2.95	34.02	06	7.05	94
137 13E	100	0.97	05	7.98	6.72	85
3258m (27°)	200	.42	02	90	50	81
	400	.19	04	88	—	—
VII, 6 (10^{07})	600	.14	05	84	—	—
	1000	.14	05	84	—	—
	2238	.17	05	82	—	—
	3238	.25	07	82	—	—
	0	14.56	33.84	8.30	5.88	99
St. 46	10	14.78	91	30	85	99
	25	9.97	91	30	7.70	119
41°12′N	50	3.52	34.04	14	36	99
136 30E	200	0.35	04	7.92	6.55	82
3486m (40°)	400	.20	02	88	—	—
	1000	.12	07	82	—	—
VII, 6 (15^{08})	2466	.19	04	82	—	—
	3466	.27	05	80	—	—
	0	15.09	33.84	8.32	—	—
St. 47	10	15.63	82	32	5.80	100
	25	7.18	91	22	8.48	124
41°30′N	50	2.88	34.02	10	7.16	95
135 42E	100	0.93	11	7.98	6.76	85
3596m (32°)	200	.32	02	90	—	—
	400	.19	04	84	—	—
VII, 6 (19^{57})	600	.17	09	84	—	—
	1000	.14	07	81	—	—
	2576	.20	09	81	—	—
	3576	.28	07	82	—	—

St. 48	0	14.25	33.69	8.24	—	—
	10	14.54	66	24	5.85	98
41°50′N	25	6.32	91	24	8.23	118
134 57 E	50	2.81	34.02	02	7.09	94
3618m (30°)	200	0.30	02	7.92	6.83	85
	400	0.17	07	86	—	—
VII, 7 (1^{05})	1000	.16	09	82	—	—
	2598	.21	09	81	—	—
	3598	.28	07	81	—	—
St. 49	0	13.41	33.66	8.22	5.96	98
	10	13.72	68	24	91	98
42°10′N	25	10.38	75	24	6.92	108
134 10 E	50	3.59	95	04	73	91
3723m (23°)	100	1.80	84	7.96	70	86
	200	0.57	84	94	63	83
VII, 7 (6^{16})	400	.24	34.07	84	—	—
	600	.17	07	82	—	—
	1000	.15	09	84	—	—
	2703	.21	09	82	—	—
St. 50	0	12.29	33.28	8.20	6.12	99
	10	12.63	31	20	13	99
42°22′N	25	11.58	46	20	41	102
133 40 E	50	5.55	34.02	20	7.64	107
2888m (46°)	200	1.51	02	7.92	6.54	84
	400	0.61	07	80	—	—
VII, 7 (10^{11})	1000	.18	07	76	—	—
	2868	.22	07	78	—	—
St. 51	0	12.38	33.21	8.20	6.11	99
42°36′N	10	12.28	26	20	21	100
133 15 E	25	6.93	57	20	7.30	106
123m (10°)	50	3.90	80	18	72	105
VII, 7 (13^{24})	100	2.08	84	02	00	91
	118	2.01	89	7.98	6.99	91
St. 52	0	12.78	33.12	8.20	6.05	99
42°39′N	10	12.88	22	20	09	100
132 44 E	25	7.21	58	20	7.47	109
82m (18°)	50	3.30	84	12	34	98
VII, 7 (15^{42})	77	2.73	84	10	29	96
St. 53	0	12.65	32.86	8.20	6.03	100
42°31′N	10	13.86	88	18	08	101
132 10 E	25	6.75	33.48	18	7.22	104
83m (10°)	50	3.31	75	10	6.99	93
VII, 7 (18^{43})	78	1.78	91	7.98	73	87
St. 54	0	14.95	33.57	8.24	5.81	99
42°26′N	10	14.59	57	22	86	99
131 30 E	25	6.45	60	22	7.41	106
122m (3°)	50	3.10	82	10	11	95
VII, 7 (22^{09})	102	1.74	96	7.98	6.82	88
	0	15.59	33.12	8.22	5.61	96
St. 55	10	11.41	22	22	56	104
	25	6.95	51	20	7.36	107
42°15′N	50	5.10	75	14	39	103
130 51 E	100	2.14	91	10	14	93
749m (10°)	200	1.94	96	06	01	91
	400	0.91	34.05	7.84	—	—
VII, 8 (1^{32})	600	51	04	82	—	—
	744	43	05	78	—	—
St. 56	0	16.01	31.94	8.22	5.67	97
42°11′N	10	13.06	32.99	20	6.05	99
130 32 E	25	8.62	33.51	20	7.11	106

St.; Depth; Date & Time	Depth m	Temp. °C	Sal. ‰	pH	O_2 cc/L	O_2/O'_2 %
90m (3°)	50	5.59	33.77	8.20	7.47	105
VII, 8 (3^{32})	85	2.98	87	10	10	94
St. 57	0	16.12	32.03	8.22	5.66	97
41°59′N	10	14.69	33.17	22	6.01	101
130 13 E	25	6.49	62	22	7.42	106
121m (4°)	50	3.58	80	14	21	97
VII, 8 (5^{39})	100	1.95	96	06	6.96	90
	116	1.88	91	06	93	90
St. 58	0	16.43	32.09	8.22	5.60	97
41°44′N	10	11.08	33.33	22	6.75	106
129 54 E	25	7.36	69	22	7.42	109
102m (21°)	50	4.63	71	18	49	103
VII, 8 (7^{51})	97	2.36	91	06	00	92
St. 59	0	17.49	32.47	8.18	5.49	97
	10	11.00	33.62	20	6.96	108
41°39′N	25	5.22	75	18	7.55	105
130 01 E	50	2.17	89	04	21	94
448m (4°)	100	1.79	93	00	11	92
VII, 11 (14^{43})	200	—	96	7.98	—	—
	443	0.45	34.07	78	—	—
St. 60	0	19.35	33.10	8.18	5.41	99
	10	16.74	39	18	78	101
41°19′N	25	4.33	78	16	—	—
130 32 E	50	1.63	98	7.98	7.49	96
2978m (5°)	200	0.55	34.04	84	6.39	80
	400	.21	07	76	—	—
VII, 11 (18^{10})	1000	.15	04	72	—	---
	2958	.22	04	72	—	—
St. 61	0	18.26	33.62	8.18	5.41	97
	10	17.16	62	18	79	102
41°00′N	25	4.63	96	14	8.80	121
131 00 E	50	1.70	34.05	7.96	7.32	94
3222m (4°)	100	0.80	33.98	88	6.88	87
	200	.55	34.04	84	61	83
VII, 11 (22^{24})	400	.22	05	74	—	—
	600	.14	09	72	—	—
	1000	.12	05	74	—	—
	3202	.25	07	72	—	—
St. 62	0	17.37	33.33	8.20	5.50	97
	10	10.71	62	18	7.11	111
40°55′N	25	4.65	89	16	8.95	124
130 29 E	50	1.62	98	7.98	7.81	100
3073m (23°)	200	0.43	34.04	86	6.73	84
	400	.23	.05	80	—	—
VII, 12 (2^{00})	1000	(.14)	.05	74	—	—
	3053	.22	—	72	—	—
St. 63	0	17.49	32.88	8.20	5.66	100
	10	10.01	90	18	—	—
40°49′N	25	6.06	33.89	16	8.79	125
129 59 E	50	5.04	98	7.96	7.31	102
1281m (16°)	100	1.12	34.00	84	6.30	80
	200	0.53	07	80	22	78
VII, 12 (5^{34})	400	.24	05	74	—	—
	600	.16	—	74	—	—
	1000	(.13)	05	74	—	—
	1261	·13	07	72	—	—

St. 64	0	15.25	33.12	8.12	6.39	109
	10	7.07	33.55	8.08	7.46	108
40°34′N	25	5.87	62	08	59	107
129 25 E	50	5.28	69	7.98	42	104
892m (4°)	100	2.56	89	90	21	95
	200	1.67	96	82	12	92
VII, 14 (8^{00})	400	0.53	34.07	72	—	—
	600	.22	09	68	—	—
St. 65	0	18.22	33.37	8.18	5.48	98
	10	10.69	51	12	7.24	113
40°12′N	25	4.68	89	14	8.43	117
130 06 E	50	2.10	34.00	7.92	7.51	98
2909m (25°)	200	0.48	04	74	6.50	81
	400	.24	07	70	—	—
VII, 14 (12^{38})	1000	.13	07	70	—	—
	2889	.22	09	70	—	—
St. 66	0	18.95	33.58	—	5.33	97
	10	18.61	53	8.20	42	98
	25	6.26	87	14	8.35	120
39.50′N	50	1.63	87	00	7.42	95
130 51 E	100	1.03	96	7.90	21	91
2240m (26°)	200	0.69	34.02	86	26	91
	400	.31	05	82	—	—
VII, 14 (17^{40})	600	.22	09	68	—	—
	1000	.16	07	72	—	—
	2220	.17	07	72	—	—
St. 67	0	19.13	33.77	—	5.25	96
	10	19.47	71	8.18	21	96
39°28′N	25	11.24	84	16	7.39	117
131 30 E	50	3.78	87	12	8.82	118
3099m (36°)	200	0.47	96	7.70	6.71	84
	400	.27	34.09	68	—	—
VII, 14 (23^{04})	1000	.15	(07)	66	—	—
	3000	.23	07	—	—	—
St. 68	0	18.96	33.73	8.20	5.31	97
39°14′N	10	19.29	71	18	31	97
130 30 E	25	19.37	80	20	8.01	147
>1000m	50	3.18	93	14	81	118
VII, 15 (5^{44})	100	1.18	98	7.90	6.96	89
	200	0.70	34.05	84	44	81
St. 69	0	18.78	33.51	8.18	5.31	96
38°58′N	10	16.04	48	18	6.05	104
129 31 E	25	6.55	80	14	8.15	117
>1000m	50	2.80	96	7.98	15	108
VII, 15 (16^{05})	100	1.44	98	90	6.98	89
	200	0.75	34.04	82	50	82
St. 70	0	21.36	33.40	(8.16)	5.35	101
38°50′N	10	19.35	44	8.22	51	101
128 30 E	25	7.96	73	16	7.74	115
>1000m	50	2.99	89	14	8.50	113
VII, 15 (16^{15})	100	1.23	34.09	7.94	7.23	92
	200	0.60	—	84	6.78	85
St. 71	0	20.88	33.62	8.24	5.12	96
	10	19.27	75	22	41	99
	25	7.33	87	22	8.41	123
38°50′N	50	2.75	95	12	29	109
131 28 E	100	1.29	98	7.92	6.69	85
2495m (26°)	200	0.59	96	88	41	80
	400	.31	34.05	82	—	—
VII, 19 (4^{49})	600	.17	09	74	—	—
	1000	.15	07	68	—	—
	2395	.19	09	82	—	—

St.; Depth; Date & Time	Depth m	Temp. °C	Sal. ‰	pH	O_2 cc/L	O_2/O'_2 %
St. 72	0	21.18	33.28	8.32	5.09	96
	10	17.24	78	32	6.51	115
38°09′N	25	9.85	—	20	5.90	—
131 31 E	50	—	96	24	—	—
1500m(5°)	200	1.17	98	7.90	6.22	79
	400	0.40	34.07	82	—	—
VII, 19 (9^{50})	1000	.16	09	74	—	—
	1400	.14	07	80	—	—
	0	24.23	32.92	8.34	5.12	101
St. 73	10	20.35	33.19	32	40	100
	25	(13.05)	91	22	44	89
37°30′N	50	—	34.47	18	—	—
131 30 E	100	7.45	16	12	88	87
2603m(52°)	200	1.86	(33.95)	7.98	6.52	84
	400	0.72	34.07	90	—	—
VII, 19 (17^{22})	600	.41	—	82	—	—
	1000	.15	.09	82	—	—
	2498	.17	09	80	—	—
	2503	(.22)	07	80	—	—
St. 74	0	22.91	33.04	8.36	4.96	96
	10	22.26	08	36	6.02	115
36°50′N	25	15.13	66	34	5.11	87
131 30 E	50	13.56	34.40	18	—	—
2012m(5°)	200	2.40	—	00	—	—
	400	0.54	05	7.84	—	—
VII, 19 (22^{01})	1000	15	05	78	—	—
	1912	15	09	80	—	—
	0	22.59	33.15	8.38	5.02	97
St. 75	10	20.87	40	38	18	97
	25	15.65	89	32	6.13	106
36°09′N	50	11.56	34.14	22	5.51	88
131 27 E	100	5.12	05	10	6.64	93
1499m(25°)	200	1.29	00	7.92	20	79
	400	0.42	09	82	—	—
VII, 20 (3^{03})	600	.24	11	80	—	—
	1000	.15	09	78	—	—
	1399	.13	09	82	—	—
St. 76	0	22.90	32.94	8.38	4.91	95
35°29′N	10	22.69	33.03	38	93	95
131 26 E	25	19.59	68	38	5.43	100
133m(14°)	50	15.76	34.25	30	31	92
VII, 20 (7^{42})	100	13.56	51	22	4.68	78
	128	12.97	51	20	72	78
St. 77	0	24.34	33.55	8.38	4.80	95
34°49′N	10	23.86	48	38	89	96
131 30 E	25	22.26	86	38	5.03	97
89m(14°)	50	20.47	34.25	38	03	94
VII, 20 (11^{56})	84	16.11	43	36	4.72	82

〔VI〕 Ms 11. Observation in the Japan Sea (2), June, 1940.

St.; Depth; Date & Time	Depth m	Temp. °C	Sal. ‰	pH	O_2 cc/L	O_2/O'_2 %
	0	16.37	33.64	8.16	5.94	104
St. 100	10	15.85	34.14	26	6.10	105
37°33′N	25	15.20	38	26	06	104
137 56 E	50	11.98	23	18	85	111
1210m	100	10.14	23	20	13	95

VI, 5 (12^{48})	200	6.11	34.11	8.14	6.29	90
	500	0.39	05	7.68	02	75
	1000	.12	09	64	5.76	73
St. 101	0	17.17	33.91	8.12	5.93	105
37°23′N	10	17.34	34.22	26	77	102
137 27 E	25	16.60	27	24	84	102
91m	50	14.54	14	26	6.14	104
VI, 5 (15^{38})	86	13.79	31	26	15	103
St. 102	0	18.14	32.50	8.24	6.02	107
37°16′N	10	16.54	34.07	28	22	109
137 12 E	25	15.78	22	16	04	104
160m	50	13.91	—	—	—	—
VI, 5 (17^{25})	100	11.06	34.05	16	30	100
	155	9.38	22	14	23	95
St. 103(a)	0	17.86	34.22	8.28	5.67	102
37°33′N	10	17.75	27	28	69	102
137 17 E	25	16.97	45	26	81	103
58m	50	14.25	49	22	99	101
VI, 8 (7^{59})	53	14.14	58	22	6.12	103
St. 103	0	18.93	34.40	8.26	5.59	102
37°33′N	10	18.78	40	28	72	104
137 17 E	25	17.27	51	26	81	103
59m	50	15.19	49	26	6.36	109
VI, 13 (7^{09})	54	14.59	51	26	04	102
St. 104	0	17.90	34.13	8.24	5.83	104
	10	16.52	11	24	87	103
37°57′N	25	15.63	33	24	91	102
136 36 E	50	12.49	13	22	6.48	105
713m	100	12.49	58	18	5.98	98
	200	9.35	31	16	6.06	93
	500	0.59	13	7.72	5.70	71
VI, 13 (12^{00})	708	.59	13	72	59	70
St. 105	0	18.43	34.29	8.26	5.77	105
	10	16.53	22	22	6.51	114
38°20′N	25	14.12	20	22	33	106
135 53 E	50	11.98	34	24	37	103
2910m	100	10.53	22	18	09	95
	200	9.98	23	14	15	95
	500	0.56	13	7.72	5.80	73
VI 13 (16^{40})	1000	.13	—	68	85	—
St. 106	0	16.38	34.04	8.22	6.03	105
	10	14.74	04	18	20	105
38°44′N	25	10.46	07	22	7.15	112
135 08 E	50	6.97	09	14	6.70	98
3025m	100	3.93	20	02	76	92
	200	1.20	07	7.86	48	83
	500	0.26	07	72	5.67	71
VI, 13 (22^{00})	1000	.10	07	72	67	70
St. 107	0	14.76	33.98	8.16	6.10	103
	10	13.75	34.05	16	31	105
39°11′N	25	10.95	04	18	85	108
134 21 E	50	6.29	16	14	59	95
833m	100	5.56	11	14	89	97
	200	4.28	16	06	—	—
	500	0.51	20	7.76	24	78
VI, 14 (3^{22})	828	.71	07	72	5.69	71
	0	13.61	33.91	8.14	6.37	106
St. 108	10	12.02	91	14	57	106
	25	10.74	93	12	90	108

St.; Depth; Date & Time	Depth m	Temp. °C	Sal. ‰	pH	O_2 cc/L	O_2/O'_2 %
39°30′N	50	5.01	34.07	8.08	7.63	106
133 54 E	100	2.93	04	7.94	6.76	90
923m	200	0.67	07	84	89	87
	500	.23	09	72	5.97	74
VI, 14 (7^{21})	918	.13	07	68	6.72	83
St. 109	0	14.35	34.04	8.14	6.32	106
	10	13.33	00	16	40	106
39°55′N	25	10.64	23	22	7.06	111
133 10 E	50	5.00	05	02	6.66	93
3325m	100	2.32	05	7.86	63	87
	200	0.81	04	80	54	82
VI, 14 (12^{30})	500	.20	07	72	03	75
	1000	.14	07	68	5.75	71
St. 110	0	13.46	34.02	8.14	7.94	131
	10	11.81	33.93	14	6.63	106
40°18′N	25	9.11	34.05	06	7.32	111
132 27 E	50	2.97	33.96	04	8.22	109
3337m	100	0.92	34.02	7.86	7.12	90
	200	.24	04	78	—	—
VI, 14 (17^{24})	500	.14	07	72	6.26	78
	1000	.10	07	70	5.94	74
St. 111	0	10.91	33.71	8.12	6.71	106
	10	8.69	82	14	7.20	108
40°40′N	25	6.49	87	12	85	113
131 44 E	50	0.84	96	7.94	6.45	81
2965m	100	.17	96	84	7.59	94
	200	.15	34.09	74	00	87
VI, 14 (22^{42})	500	.13	05	72	6.28	78
	1000	.09	07	72	5.86	73
St. 112	0	10.98	33.66	8.14	7.19	113
	10	10.94	69	14	6.78	107
41°05′N	25	6.74	91	14	7.97	115
130 58 E	50	2.19	96	02	8.12	106
>3000m	100	0.28	96	7.86	7.59	94
	200	.19	34.04	78	15	89
VI, 15 (4^{17})	500	.15	13	74	6.17	77
	1000	.10	07	68	5.76	71
St. 113	0	10.77	33.55	8.14	6.80	107
	10	10.47	58	14	89	107
41°29′N	25	4.89	86	06	8.63	120
130 12 E	50	1.58	34.05	7.88	7.83	101
>2000m	100	0.56	05	82	23	91
	200	.18	05	78	6.65	83
VI, 15 (9^{29})	500	.17	09	74	19	77
	1000	.09	07	72	5.84	72
St. 114	0	10.29	33.58	8.14	7.09	110
41°41′N	10	5.33	60	14	8.03	112
129 58 E	25	3.80	55	7.98	7.54	102
171m	50	3.31	77	98	61	102
VI, 15 (12^{24})	100	2.03	73	92	41	96
	166	1.23	34.00	82	6.92	88
St. 115	1	12.00	33.48	8.14	6.66	107
	10	10.61	55	14	91	108
41°34′N	25	4.65	86	10	8.93	123
130 13 E	50	0.83	95	7.92	7.82	98
>1000m	100	.31	98	90	32	91
VI, 17 (11^{19})	200	.42	34.05	82	6.67	83
	500	.14	07	74	5.93	73

	1000	0.11	34.07	7.72	5.79	72
St. 126	0	12.47	33.51	8.08	6.20	100
	10	10.7	58	08	78	106
41°55′N	20	5.86	93	04	7.88	112
131 10 E	40	1.10	34.02	7.94	70	98
>1000m	60	1.18	07	90	36	94
	100	0.29	09	82	6.88	86
	200	.10	13	78	40	79
VI, 20 (0[10])	500	.12	13	70	5.71	71
	1000	.11	13	72	67	70
St. 127	0	12.29	33.57	8.10	6.41	104
	10	9.9	71	10	96	108
41°51′N	20	4.62	87	08	8.51	117
130 46 E	40	0.64	91	7.94	7.99	100
VI, 20 ([45])	60	.20	93	92	60	94
	100	(.01)	34.02	90	36	91
St. 128	0	11.88	33.57	8.08	6.83	110
	10	9.8	69	10	7.16	110
41°48′N	20	6.26	91	08	83	112
130 20 E	40	2.60	34.13	7.98	45	98
VI, 20 (5[23])	60	1.70	09	94	17	92
	100	0.83	11	90	6.97	88
St. 129	0	12.55	33.62	8.10	6.70	109
41°47′N	10	9.4	77	10	7.40	103
130 07 E	20	6.63	87	08	83	103
461m	40	2.72	34.05	7.98	25	96
VI, 20 (7[48])	60	2.23	09	94	15	93
	100	1.32	11	90	03	90
St. 131	0	12.15	32.90	8.10	6.67	108
	10	8.78	33.69	10	7.19	108
40°36′N	25	5.29	49	10	74	98
129 53 E	50	4.06	60	—	18	92
>1000m	100	1.41	96	7.90	17	94
	200	0.86	34.07	82	45	85
VI, 22 (6[32])	500	.33	05	80	6.79	70
	1000	.10	09	72	5.66	71
St. 132	0	11.80	32.86	8.10	6.98	111
	10	8.84	33.24	08	7.36	111
41°23′N	25	5.87	49	08	56	107
129 54 E	50	3.40	57	00	38	99
445m	100	1.66	78	7.90	23	93
VI, 22 (8[40])	200	1.10	34.09	84	6.99	89
	400	0.44	07	80	82	85
St. 133	0	12.86	33.24	8.08	6.64	107
	10	9.1	66	12	7.18	109
40°51′N	25	6.53	75	08	99	115
129 54 E	50	2.40	98	7.98	8.57	112
VI, 22 (12[37])	100	1.25	34.05	90	6.97	89
	150	0.85	05	88	7.13	90
St. 134	0	14.25	32.84	8.08	6.60	110
	10	10.90	33.60	08	84	108
40°41′N	25	3.00	89	08	9.30	124
129 58 E	50	0.76	34.02	7.90	7.16	90
>2000m	100	.21	02	82	45	92
	200	—	04	78	6.74	—
	500	.12	09	70	5.88	73
VI, 22 (15[22])	1000	.11	09	70	61	70
St. 135	0	14.47	33.13	8.08	6.52	109
40°37′N	10	10.28	17	08	7.17	110

St., Depth; Date & Time	Depth m	Temp. °C	Sal. ‰	pH	O_2 cc/L	O_2/O'_2 %
129 19 E	25	6.15	33.49	8.06	7.70	109
123m	50	3.90	58	04	74	105
VI, 22 (19^{03})	100	1.17	84	7.92	45	95
St. 137	0	12.69	33.10	8.12	6.57	106
	10	11.80	12	12	75	108
40°13′N	25	7.05	80	10	7.85	114
129 04 E	50	2.85	34.07	7.98	34	97
379m	100	1.61	05	94	40	95
VI, 25 (17^{50})	200	0.69	07	88	6.98	88
	370	.46	05	80	92	87
St. 138	0	16.48	33.68	8.08	5.77	101
	10	16.01	64	10	83	101
39°43′N	25	6.22	91	10	8.04	115
128 49 E	50	1.75	34.00	7.94	7.37	95
>1000m	100	0.31	14	92	42	(92)
	200	.56	02	82	6.90	86
VI, 25 (21^{45})	500	.19	07	74	5.71	71
	1000	.14	05	70	59	69
St. 139	0	15.67	33.48	8.10	5.77	101
	10	13.78	64	10	83	101
39°14′N	25	5.43	91	10	8.04	115
128 32 E	50	1.96	95	7.98	7.37	95
>1000m	100	0.43	98	90	42	(92)
	200	.34	34.02	82	6.90	86
VI, 26 (2^{08})	500	.22	23	74	5.71	71
	1000	.14	18	70	59	69
St. 140	0	15.97	33.30	8.10	6.01	104
38°47′N	10	10.85	60	10	7.15	113
128 17 E	25	5.30	69	10	8.38	117
64m	50	5.00	80	08	12	113
VI, 26 (6^{12})	59	5.01	78	02	03	112
St. 141	0	15.91	33.31	8.10	6.04	104
38°23′N	10	9.1	39	10	7.35	111
128 40 E	25	3.16	69	00	82	104
>200m	50	2.07	71	7.98	76	101
VI, 27 (8^{39})	100	0.74	86	94	66	96
	200	.21	91	92	46	93
St. 142	0	18.51	33.86	8.14	5.55	100
	10	15.81	42	14	98	(103)
38°01′N	25	7.36	91	12	7.76	114
428 58 E	50	2.79	91	10	8.76	117
>1000m	100	1.15	89	10	99	114
	200	0.25	34.00	7.90	6.89	85
VI, 27 (12^{25})	500	.24	09	72	5.81	72
	1000	.18	05	72	49	68
St. 143	0	17.68	33.33	8.10	5.83	104
37°28′N	10	14.56	49	10	6.50	109
129 21 E	25	6.43	75	08	8.17	117
174m	50	3.62	84	02	31	112
VI, 28 (12^{40})	100	1.84	84	7.94	7.83	101
	169	1.34	95	92	6.96	89
	0	19.91	24.11	8.20	5.35	99
St. 144	10	19.67	11	20	36	99
36°50′N	25	14.95	54	20	6.38	109
130 00 E	50	13.34	49	10	5.20	86
>1000m	100	10.26	29	10	89	92
VI, 28 (18^{14})	200	2.69	02	7.90	6.42	85

	500	0.30	34.04	7.72	5.92	74
	1000	.15	05	70	55	69
St. 145	0	20.39	32.95	8.20	5.45	101
	10	17.89	33.57	20	6.23	111
36°25′N	25	14.40	34.11	14	5.40	91
130 00 E	50	14.22	56	08	4.47	75
>1000 m	100	8.90	31	7.94	5.08	77
	200	1.15	02	82	6.40	81
VI, 28 (22^{40})	500	0.24	07	72	5.71	71
	1000	.17	—	—	—	—
St. 146	0	19.12	33.87	8.22	6.17	113
	10	16.87	34.11	20	22	110
36°00′N	25	—	34	02	4.94	—
130 00 E	50	6.31	49	7.92	5.25	79
>1000 m	100	3.70	13	88	75	78
	200	0.75	04	74	6.10	77
VI, 29 (2^{07})	500	20	05	70	5.60	70
	1000	14	09	70	56	69

Chemical Studies on the Volatile Constituents of Seaweed IX

On the Volatile Constituents of *Codium fragile*

Teruhisa KATAYAMA

Department of Fisheries, Faculty of Fisheries and Animal Husbandry,
Hiroshima University, Fukuyama
(Diagram 1; Tables 1–4; Plates 1–2; Text-Fig. 1)

INTRODUCTION

The present series of studies were undertaken in order to elucidate the so-called "tang of the sea" by systematic separation and identification of the volatile components of seaweeds, and to clarify the principle of aromatic components of sea foods by elucidating the aromatic and odoriferous components of seaweeds. Separation and identification of the volatile components of *Ulva pertusa*[1),2),3),4)], *Enteromorpha* sp.[5)], *Porphyra tenera* K.[6)], *Sargassum* sp.[7)], and *Laminaria* sp.[8),9)] have already been reported.
During the course of these studies, it was found that some of the volatile components show anthelmintic effect. By fractionation of the volatile components of *Digenia simplex*[10)], pharmacological activity of the components was determined, and linalool, geraniol and carvone were found to have strong anthelmintic activity[11),12),13)].

In the present series of studies, attempt was made also to classify seaweeds according to their volatile components, since it was found that such volatile components differ with algal species. For this purpose, the volatile components of *Codium fragile* (SURINGAR) HARIOT growing profusely in the Inland Sea of Japan were fractionated, and dimethylsulfide, benzaldehyde, α-methylfurfural, furfural, furfuryl alcohol, 1:8-cineol, linalool, terpinolene, geraniol and eugenol were detected as the aromatic components. As for the odorous components, the presence of formic, propionic, butyric, isovaleric, n-caproic, caprylic, and palmitic acids and p-cresol was detected.

EXPERIMENTAL

Fresh *C. fragile* was collected from the Inland Sea near Fukuyama City, Hiroshima Pref. Fifty kg. of the air-dried material was submitted to steam distillation. Yield of volatile component was approximately 0.034%. The volatile component was fractionated according to the method which was previously described[1),2),3)] and is represented in Diagram 1 of this paper.

A. YIELD OF EACH FRACTION OF VOLATILE COMPONENTS

The yield of each fraction obtained by the above fractionation is given in Table 1.

B. ISOLATION OF VOLATILE COMPONENTS FROM EACH FRACTION

1. Isolation from Distillation Gaseous Phase

a. *Isolation of Dimethylsulfide*: The vapor that did not condense during steam distillation was passed through mercuric chloride, white precipitate being formed. This mercuric

Diagram 1. General scheme for separation of volatile constituents.

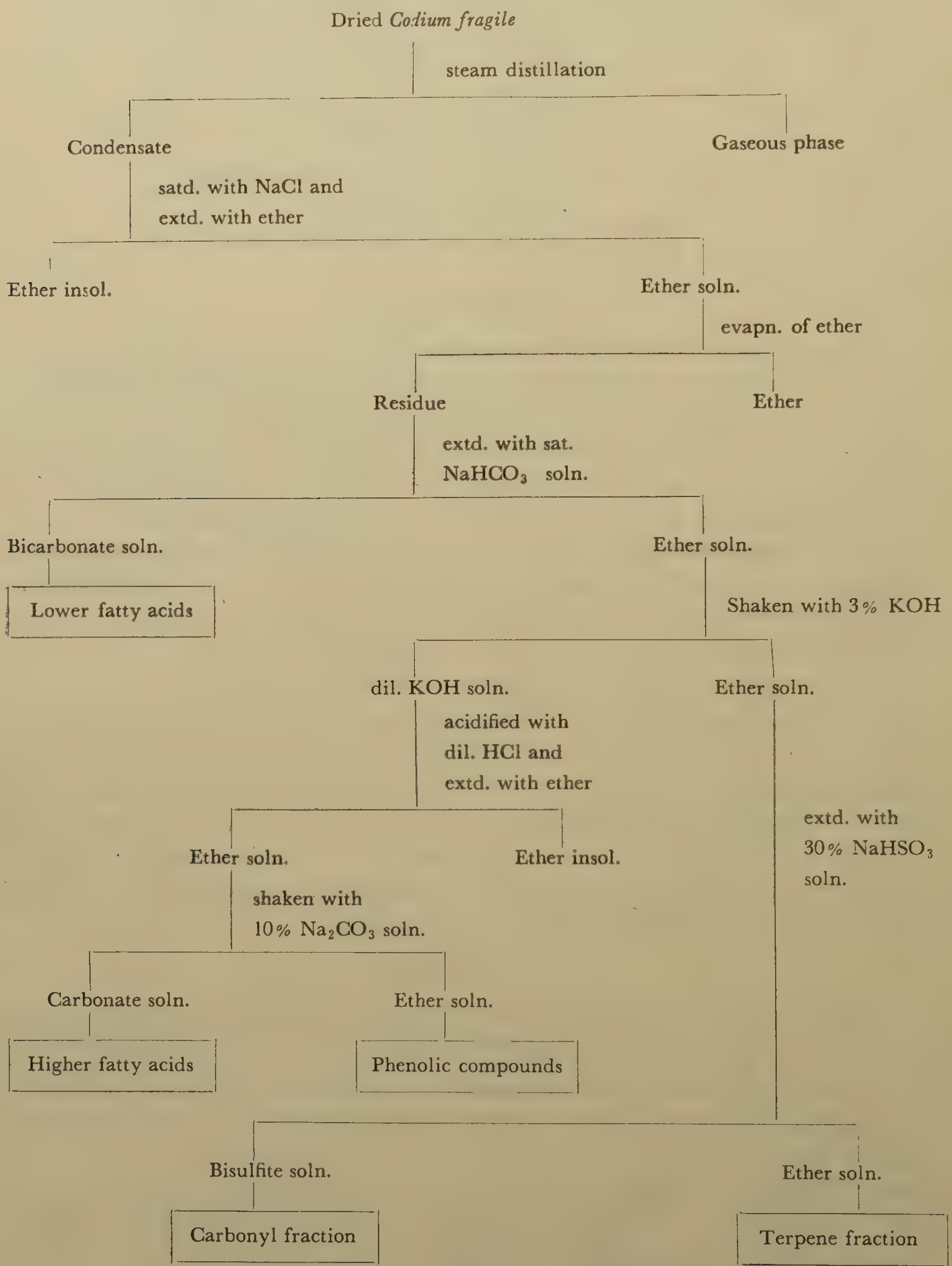


Table 1. Yield of volatile compounds from 50 kg. of air-dried *Codium fragile*.

Fraction	Yield (g)	Odor
1. Dimethylsulfide	6.0*	Aroma
2. $NaHCO_3$-soluble fraction (lower fatty acid fraction)	5.1	Odorous
3. Na_2CO_3-soluble fraction (higher fatty acid fraction)	7.9	Odorous
a. Saturated fatty acid	4.2	—
b. Unsaturated fatty acid	3.1	Odorous
4. Phenol fraction	2.1	Odorous
5. Carbonyl fraction	1.1	Aroma
6. Neutral fraction	6.1	Aroma

* Yield from 100 g. of air-dried *C. fragile*.

chloride double salt melts at 151–152°C, undepressed on being admixed with the corresponding double salt of dimethylsulfide obtained from *Ulva pertusa*[1].

2. Isolation from Condensate Fraction

The condensate fraction was saturated with sodium chloride and extracted with ether. The ether layer was drid over anhydrous sodium sulfate.

a. *Identification of Formic, Acetic, Propionic, Butyric, Isovaleric, n-Caproic, Caprylic Acids from $NaHCO_3$ Soluble Fraction*: The crude oil was repeatedly shaken with sodium bicarbonate solution.

Acidification of the soluble fraction with dilute hydrochloric acid solution made the fraction to separate into a water-insoluble, oily fatty acid fraction and a water-soluble, fatty acid fraction. The former fraction containing oily fatty acids was dissolved in ether, washed three times with saturated sodium chloride solution and dried, and the ether was evaporated (Acid–II). The latter fraction, i.e., the aqueous solution containing water-soluble fatty acids, was saturated with sodium chloride and repeatedly extracted with ether, and the ether was evaporated after drying; the residue was submitted to paper chromatography[2] and the presence of formic (Rf 0.45), acetic (0.52), propionic (0.67), butyric (0.75), and valeric acids was confirmed. Acid–II (oily fatty acid) was extracted with iso-octane and the iso-octane solution was poured over a column (1.5 × 30 cm.) of silica gel[14]. The rate of flow was adjusted to 1 cc. per minute by applying a pressure of 20 cm. Hg of nitrogen gas, and the effluent was collected in 5 cc. fractions. Each fraction was titrated with 0.02N ethanolic potassium hydroxide. The chromatogram of the Acid-II fraction is shown in Text-fig. 1.

The sodium salts of fatty acids separated by column chromatography were character-

ized as their p-bromphenacylesters.

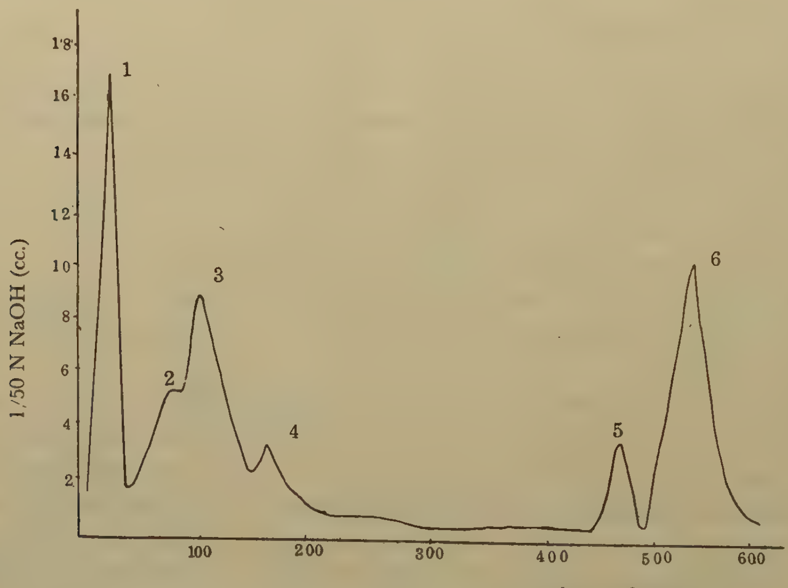
1) Acid II-1: Its p-bromphenacylester, m.p. 71–72°C, showed no depression in the melting point on being admixed with the p-bromphenacylester (m.p. 73–75°C) obtained from *Laminaria* sp.[9].

2) Acid II-2: *Identification of Caprylic Acid:* Its p-bromphenacylester, m.p. 63.5–64.5°C, showed no depression in the melting point on being admixed with p-bromphenacylester of pure caprylic acid (m.p. 65–66°C).

3) Acid II-3: *Identification of n-Caproic Acid:* Its p-bromphenacylester, m.p. 67.5–68.0°C, showed no depression in the melting point on being admixed with p-bromphenacylester of pure n-caproic acid (m.p. 71–72°C).

4) Acid II-4: *Identification of Isovaleric Acid:* Its p-bromphenacylester, m.p. 65–66°C, showed no depression in the melting point on being admixed with p-bromphenacylester of isovaleric acid (m.p. 66.5–67.5°C).

5) Acid II-5: *Identification of Propionic Acid:* The melting point of its p-bromphenacylester, m.p. 56.0–57.0°C, remained undepressed on being admixed with p-bromphenacylester of propionic acid (m.p. 56.0–56.5°C).



Text-fig. 1. Chromatographic separation of the Acid –II fraction.

6) Acid II-6: *Identification of Acetic Acid:* The melting point of p-bromphenacylester, 82.5–83.5° C, remained undepressed on being admixed with p-bromphenacylester of acetic acid (m.p. 83–84°C).

b. *Fraction Soluble in 3% Potassium Hydroxide and 10% Sodium Carbonate (Higher Fatty Acid Fraction):* The ether solution of the crude oil, left after removal of the bicarbonate-solution portion, was shaken thoroughly with 3% potassium hydroxide and the mixture was allowed to stand overnight in order to break the emulsion. The potas-

sium hydroxide solution was acidified with hydrochloric acid and extracted with ether. The ether extract was shaken further with 10% sodium carbonate solution in order to separate higher fatty acids from phenols. The carbonate-soluble fraction was acidified with dilute hydrochloric acid and extracted with ether, and the ether was evaporated after drying.

The carbonate-soluble fraction contained saturated and unsaturated fatty acids. Their separation was carried out by the method reported in Part I[1] of this series. Recrystallization of saturated fatty acids from ethanol afforded crystals melting at 61–62°C which formed a p-bromphenacylester of m.p. 85.0°C. The ester crystal showed no depression in the melting point on admixture with the corresponding ester of palmitic acid. Thus the presence of palmitic acid was confirmed. Unsaturated fatty acids are being investigated.

c. *Fraction Soluble in 3% Potassium Hydroxide but Insoluble in 10% Sodium Carbonate (Phenol Fraction)*: The fraction soluble in 3% potassium hydroxide solution which was left after removal of the fraction soluble in 10% sodium carbonate, was washed three times with saturated sodium chloride solution and dried, and the ether evaporated. Pale brown, oily substance with cresol-like odor was obtained, which was submitted to chromatostrip[3] with 30% ethyl acetate-hexane mixture as the developer. The papergram was sprayed with 2% aqueous solution of phosphomolybdic acid[16] and a spot of Rf 0.54 was obtained. The spot corresponded to that of p-cresol.

d. *Fraction Soluble in 30% Sodium Bisulfite (Carbonyl Fraction)*: The ether solution of crude oil, left after removal of fatty acids and phenol fraction, was repeatedly shaken with 30% sodium bisulfite solution and the combined bisulfite solution was made alkaline with sodium carbonate. This was subjected to steam distillation; the distillate was saturated with sodium chloride and subsequently extracted with ether. Evaporation of ether after drying left a pale yellow, oily substance which had an aroma of cinnamaldehyde. The oil reduced the Fehling solution and formed a 2,4-dinitrophenylhydrazone. This oil was submitted to chromatostrip[4] and sprayed with a solution of 2,4-dinitrophenylhydrazine sulfite, by which three spots appeared at Rf 0.19 (pink), 0.28 (red), and 0.47 (pink). In order to collect larger amount of each hydrazone separately, a chromato-plate was prepared in the following manner. Silica gel-gypsum mixture was spread over a glass plate, 15 cm. in width and 25 cm. in length, by the same method as described in Part III[3] of this series, and dried for 1.3 hours at 80°C in a reverse-current drier. The carbonyl compound was spotted on a base line drawn 5 cm. away from one end, and this was developed in a tightly topped glass jar measuring 17 cm. in inside diameter. When a solution of 2,4-dinitrophenylhydrazine sulfate was sprayed after development, three bands of 2,4-dinitrophenylhydrazones with Rf values of 0.18 (Band C), 0.27 (Band B) and 0.47 (Band A) were obtained.

1) Isolation of Benzaldehyde: Band A in the above chromatoplate (Rf 0.47) was collected and dissolved in benzene, and the solution was submitted to column chromatography using activated alumina as absorbent[1,17,18]. One band of pink color was obtained. When benzene was evaporated from this pink band in carbon dioxide atmosphere, a 2,4-dinitrophenylhydrazone sparingly soluble in either methanol or ethanol

was obtained. Recrystallization from ethanol-ethylacetate mixture (1:2) afforded crystals melting at 241–241.5°C, undepressed on admixture with 2,4-dinitrophenylhydrazone of commercial benzaldehyde (m.p. 241–242°C). Their infrared absorption spectra were also in good agreement (Plate 1, Figs. 1 and 2).

2) Isolation of Trans- and Cis-forms of 2,4-Dinitrophenylhydrazone of α-Methylfurfural: The 2,4-dinitrophenylhydrazone with Rf 0.27 (Band B, red color) was dissolved in benzene and submitted to column chromatography with activated alumina as adsorbent, giving two bands, pink (I) and red (II).

Benzene was evaporated from the pink band (I) in carbon dioxide atmosphere under a reduced pressure, and orange needle crystals of m.p. 222.5–223.0°C were obtained. No depression of the melting point occurred on admixture with the corresponding derivative of cis-form of α-methylfurfural (m.p. 223.0°C).[9] Their infrared absorption spectra were in good agreement[9] (Plate 1, Fig. 3).

The 2,4-dinitrophenylhydrazone forming the red band (II) was dissolved in benzene and removal of solvent under a reduced pressure in carbon dioxide atmosphere gave a red 2,4-dinitrophenylhydrazone of m.p. 194–196°C. For further purification, 30 mg. of this hydrazone was dissolved in 20 cc. of chloroform and was submitted to column chromatography using a mixture (2:1) of silica gel (MALLINCRODT) and celeit (JOHNS-MANVILLE) as adsorbent and 2% ethyl ether-petroleum ether as the developing solvent[19),20)]. A brown band and a small amount of pink band were obtained. The brown band was eluted with benzene, benzene was removed and the residue was recrystallized from methanol. Reddish brown needle crystals were obtained. Recrystallization from methanol afforded crystals melting at 202–203°C and repeated recrystallizations failed to raise the melting point. Admixture of the above crystals with the trans-derivative of the 2,4-dinitrophenylhydrazone of α-methylfurfural[9] (m.p. 203–204°C) showed no depression of the melting point. Their infrared absorption spectra were in good agreement[9] (Plate 1, Fig 4).

3) Isolation of Furfural: The 2,4-dinitrophenylhydrazone giving Band C (Rf 0.18, pink) was dissolved in benzene and submitted to column chromatography with activated alumina as adsorbent. A yellow and a red band were obtained, which were respectively designated Band I and II. Benzene was distilled off from the yellow band (I) under a reduced pressure in carbon dioxide atmosphere, and the residue was recrystallized from ethylacetate-methanol mixture (1:2), yielding yellow needle crystals of m.p. 205–206°C. Distilled commercial furfural (b.p. 161°C) was derived to its 2,4-dinitrophenylhydrazone. On submitting it to column chromatography with activated alumina as the adsorbent and benzene as the developer, the cis (m.p. 208°C)- and trans (m.p. 230°C) -derivatives[21] were separated. Admixture of the above crystals of m.p. 205–206°C with the cis-derivative of the 2,4-dinitrophenylhydrazone of furfural (yellow needles, m.p. 208°C) showed no depression of the melting point. Infrared absorption spectra of the two were also in good agreement[22] (Plate 2, Fig. 5).

The residue from the red band (II) was recrystallized from methanol-ethylacetate mixture (2:1) to yield red prismatic crystals (m.p.229–229.5°C), which showed no depression in the melting point on admixture with the trans-derivative of the 2,4-

dinitrophenylhydrazone of furfural (red prisms, m.p. 230°C). The infrared spectra of the two were also identical (Plate 2,Figs. 6 and 7).

e. *Terpene Fraction* (*Neutral Compounds*)

1) Rf Value pf Pure Terpenes in Chromatostrip: Studies on the chromatostrip of terpenes have been carried out by KIRCHNER[23),24),25)], REITSEMA[26)], INDO[27)], FURUKAWA[28),29)] and YAMAMOTO and FURUKAWA[30),31)]. In the present study, Rf values of 31 kinds of pure terpenes were determined, and the results are shown in Table 2.

Table 2. Rf value* of neutral compounds (mainly pure terpenes).

Compounds	Rf-value	Compounds	Rf-value
Hydrocarbons		benzaldehyde	0.46
α-pinene	0.88	propionaldehyde	0.58
β-pinene	0.82	vanilline	0.074
terpinolene	0.75	isovanilline	0.054
cadinene	0.83	cinnamaldehyde	0.34
p-cymene	0.61	*Alcohols and phenolic compounds*	
d-limonene	0.70	geraniol	0.20
β-phellandrene	0.82	citronellol	0.01
Esters		eugenol	0.32
linalylacetate	0.53	carvacrol	0.34
geranylacetate	0.50	terpineol	0.24
terpenylacetate	0.51	isoborneol	0.32
Carbonyl compounds		isoeugenol	0.28
pseudoionone	0.34	menthol	0.31
fenchone	0.51	thymol	0.39
ionone	0.59	linalool	0.34
carvone	0.40	borneol	0.28
citronellal	0.49	anethol	0.02
citral	0.37	furfuryl alcohol	0.13
anisaldehyde	0.22	*Oxides*	
furfural	0.29	1:8-cineol	0.49
perillaldehyde	0.41	ascaridol	0.45

* Developing temperature, 25°C; developing solvent, 15% ethyl acetate in n-hexane; adsorbent, silica gel.

2) Terpene Fraction from *C. fragile:* The neutral oil left after removal of free and higher fatty acid, phenol and carbonyl fractions was fractionated with the WIDMER micro-fractionation apparatus improved by the author[3)]. The result of the frationation is listed in Table 3.

Each of these fractions was submitted to chromatostrip[3),23),24),25),28),29)] with the results shown in Table 4.

Table 3. Result of fractional distillation.

Fraction	Pressure (mm)	b. p. (°C)	Yield (g)	N_D^{25}	Color
I	15	-50	0.5	1.4719	light yellow
II	〃	51-60	0.2	1.4723	〃
III	10	-50	0.4	1.4762	〃
IV	〃	51-60	0.3	1.4775	〃
V	5	-50	0.2	1.4821	〃
VI	〃	51-60	0.4	1.4830	〃
VII	3	50-60	0.5	1.4886	〃
VIII	〃	61-70	1.2	1.4896	〃
IX	〃	71-80	0.8	1.4890	〃
X	〃	81-90	0.5	1.4823	brown
XI	〃	91-100	0.7	1.4812	〃
XII	〃	101-110	0.1	1.4782	〃
XIII	〃	111-120	0.5	1.4776	〃
XIV	〃	121-130	0.4	1.4835	〃
XV	〃	131-140	0.7	1.4885	〃
XVI	〃	141-150	0.8	1.4892	〃

On the basis of the Rf value, coloration, and pressure-boiling point curve[32),3)], the presence of furfuryl alcohol, terpinolene, 1:8-cineol, linalool, geraniol and eugenol was revealed.

SUMMARY

1. The presence of dimethylsulfide was confirmed in the gaseous phase which did not condense during steam distillation.

2. The fraction soluble in sodium bicarbonate solution was separated into two fractions: the water-soluble fatty acids and the water-insoluble fatty acids. The presence of formic, acetic, propionic, butylic, valeric acids in the first fraction was confirmed by paper chromatography. The second fraction was submitted to silica gel column chromatography with methanol as the stationary phase and iso-octane as the mobile phase under a pressure of nitrogen gas, and each of the fatty acids thus separated was characterized as its p-bromphenacylester; the presence of isovaleric, n-caproic, and caprylic acids was confirmed.

3. Phenol fraction was submitted to chromatostrip and presence of p-cresol was confirmed.

4. Carbonyl fraction was fractionated by a chromatoplate and subsequently treated with 2,4-dinitrophenylhydrazine. The benzene extract of each hyrazone band was column-chromatographed. The presence of benzaldehyde, α-methylfurfural, and furfural was confirmed.

5. Terpene fraction was fractionated with a micro-fractionation apparatus and each of the obtained fractions was submitted to chromatostrip. From their Rf values, color and pressure-boiling point curves, the presence of furfuryl alcohol, terpinolene, 1:8-

Table 4. Fractionation of neutral compounds with chromatostrip.

No.	b.p. (°C)	Pressure (mm)	Rf values															
I	-50	15	furfuryl alcohol 0.13		0.23				0.42	0.51						pink 0.74	0.81	
II	51-60	〃	0.12 purple		0.22				0.43	0.51						0.75	0.81	
III	-50	10			0.23				0.43		1:8-cineol 0.52					0.74	pink	
IV	51-60	〃			light-blue				0.43		0.53					terpinolene		
V	-50	5							0.43		pink							
VI	51-60	〃					lin-		0.43						0.71			
VII	50-60	3					alool 0.33		pink						0.72			
VIII	61-70	〃					0.34					0.56			0.73	0.73		
IX	71-80	〃					0.33					0.56			pink	0.74		
X	81-90	〃		geraniol 0.20			0.33					pink		0.67		pink		0.87
XI	91-100	〃		0.19			pink	eu-					0.61	0.67				0.87
XII	101-110	〃		pink		0.29		genol 0.34					0.60	0.68			0.80	pink
XIII	111-120	〃				0.29		0.35					0.60	0.67	0.70		0.80	
XIV	121-130	〃				pink		0.35					0.60	pink	0.70		0.80	
XV	131-140	〃						pink					pink		0.70		0.80	
XVI	141-150	〃													pink		0.81 pink	

cineol, linalool, geraniol and eugenol was revealed.

6. The principle of aromatic components of *Codium fragile* is dimethylsulphide, benzaldehyde, α-metylfurfural, furfural, furfuryl alcohol, terpinolene, 1 : 8-cineol, linalool, geraniol and eugenol. The odorous components of *C. fragile* are formic, acetic, propio nic, butyric, isovaleric, n-caproic, caprylic acids and p-cresol.

The author expresses his deep gratitude to Prof. T. TOMIYAMA of Kyushu University for his kind guidance throughout the course of this work and to Prof. T. MATSUURA, Prof. T. YAMAMOTO and Mr. T. FURUKAWA of Hiroshima University for their valuable advice concerning the chromatostrip of terpene.

REFERENCES

(1) KATAYAMA, T. & TOMIYAMA, T. 1952. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., **17**:132.
(2) KATAYAMA, T. 1953. Ibid., **19**: 793.
(3) KATAYAMA, T. 1955. Ibid., **21**: 412.
(4) KATAYAMA, T. 1955. Ibid., **21**: 416.
(5) KATAYAMA, T. 1955. Ibid., **21**: 420.
(6) KATAYAMA, T. 1956. Ibid., **22**: 244.
(7) KATAYAMA, T. 1955. Ibid., **21**: 425.
(8) KATAYAMA, T. 1958. Ibid., **24**: 346.
(9) KATAYAMA, T. 1958. Ibid., in press.
(10) KATAYAMA, T. 1958. Ibid., **24**: 205.
(11) BANDO, T. & KATAYAMA, T. 1955. Folia Pharmacologica Japonica, **51**: 40.
(12) BANDO. T. & KATAYAMA, T. 1955. Ibid., **51**: 112.
(13) BANDO, T. & KATAYAMA, T. 1958. Ibid., in press.
(14) VANDENHEUVEL, F. A. & HAYES, E.R. 1952. Anal. Chem., **24**: 960.
(15) JUDEFEIND, W.L. & REID, E.E. 1920. J. Amer. Chem. Soc., **42**: 960.
(16) RALP, L.H. 1951. Ibid., **73**: 852.
(17) BUCHMAN, E.R., SCHLATTER, M.J. & REIMS, A.O. 1942. Ibid., **64**: 2701.
(18) JONATHAN, W.W. 1948. Anal. Chem., **20**: 726.
(19) GORDON, B.E., WOPAT, F., BURNHAM, H.D. & JOHNES, L.C. 1951. Ibid., **23**: 1754.
(20) ROBERTS, J.D. & GREEN, C. 1946. Ibid., **18**: 335.
(21) BRADDOCK, L.I., GARLOW, K.I., GRIM., L.I., KIRKPATRICK, A.F., PEASE, S.W., POLLARD, A.J., PRICE, E.E. REISMANN, T.L., ROSE, H.H. & WILLARD, M.L. 1951. Ibid., **23**: 420.
(22) ONISHI, I. 1958. Studies of Essential Oils of Tobacco Leaves. Central Research Institute, Japan Monopoly Corporation, Tokyo.
(23) KIRCHNER, J.G., MILLER J. M. & KELLER J.G. 1951. Anal. Chem., **23**: 420.
(24) MILLER, J.M. & KIRCHNER, J. G. 1951. Ibid., **23**: 428.
(25) MILLER, J.M. & KIRCHNER, J. G. 1953. Ibid., **25**: 1107.
(26) REITSEMA, R. H. 1954. Ibid., **26**: 960.
(27) INDO, G. & OZAWA, T. 1953. Reports Asssoc. Camphor Ind. Eng. Jap., **18**: 29.
(28) FURUKAWA, T. 1955. J. Fac. Education Hiroshima Univ., **3**: 53.
(29) FURUKAWA, T. 1956. Ibid., **4**: 37.
(30) YAMAMOTO, T. & FURUKAWA, T. 1957. Ibid., **5**: 67.
(31) FURUKAWA, T. 1958. J. Sci. Hiroshima Univ., **21**: 285.
(32) DANIEL, R. S. 1947. Ind. Eng. Chem., **39**: 517.

EXPLANATION OF PLATES

Plate 1

Fig. 1. The infrared absorption spectra of a 2,4-dinitrophenylhydrazone (m.p. 241–241.5°C).

Fig. 2. The infrared absorption spectra of 2,4-dinitrophenylhydrazone of benzaldehyde (m.p. 241–242°C).

Fig. 3. The infrared absorption spectra of 2,4-dinitrophenylhybrazone (m.p. 222.5–223.0°C).

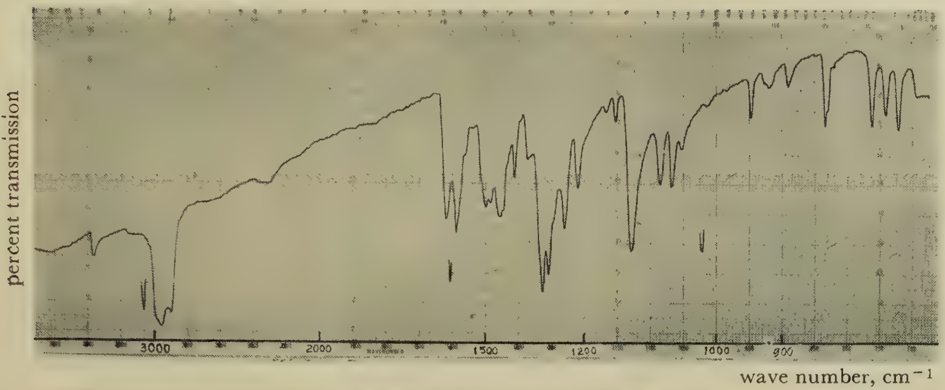
Fig. 4. The infrared absorption spectra of a 2,4-dinitrophenylhydrazone (m.p. 202–203°C).

Plate 2

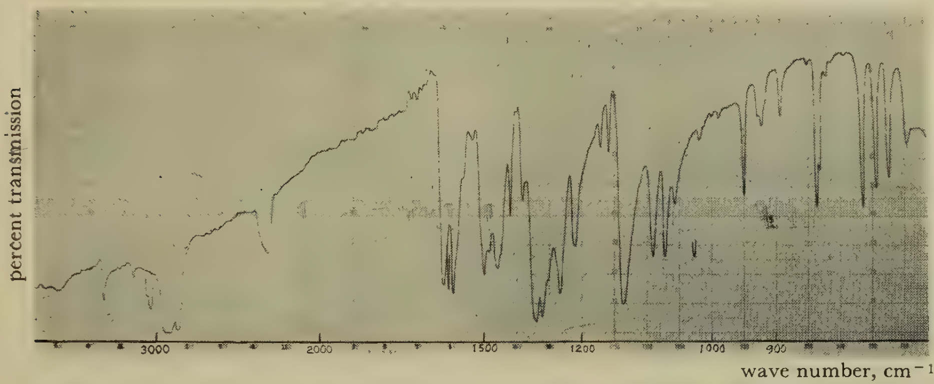
Fig. 5. The infrared absorption spectra of a 2,4-dinitrophenylhydrazone (m.p. 205–206°C).

Fig. 6. The infrared absorption spectra of a 2,4-dinitrophenylhydrazone of m.p. 229–229.5°C.

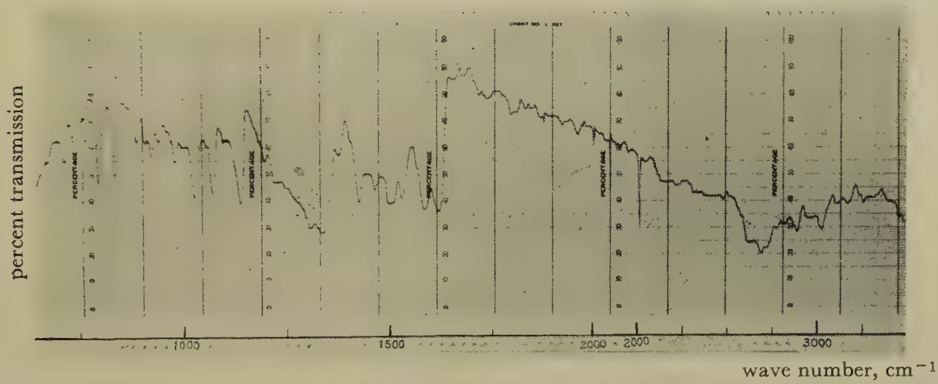
Fig. 7. The infrared absorption spectra of the trans-derivative of 2,4-dinitrophenylhydrazone of furfural (m.p. 230°C).



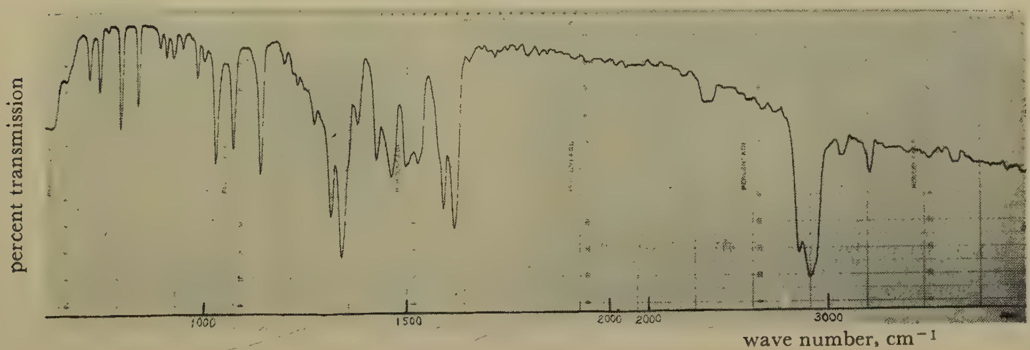
1



2

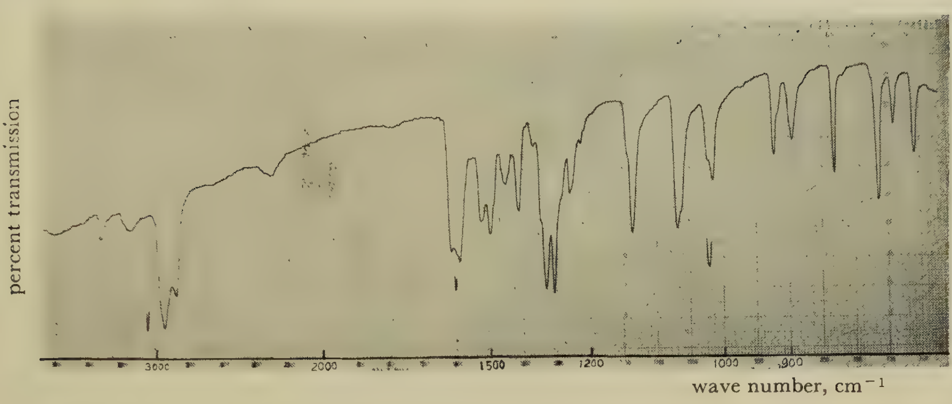


3

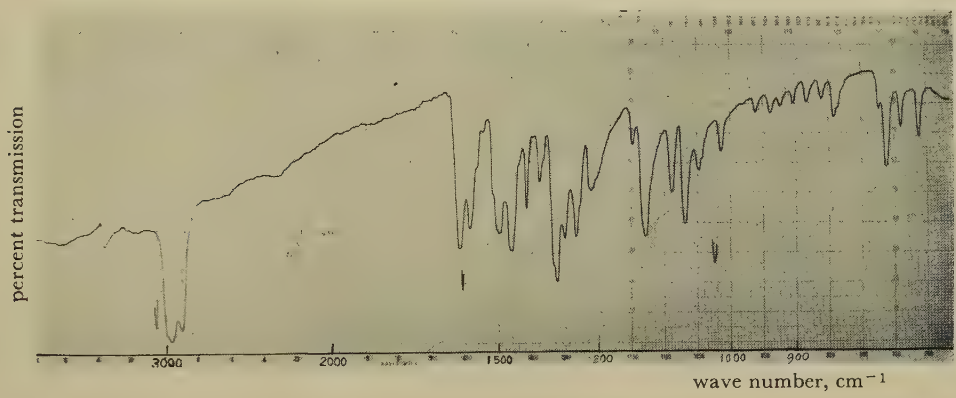


4

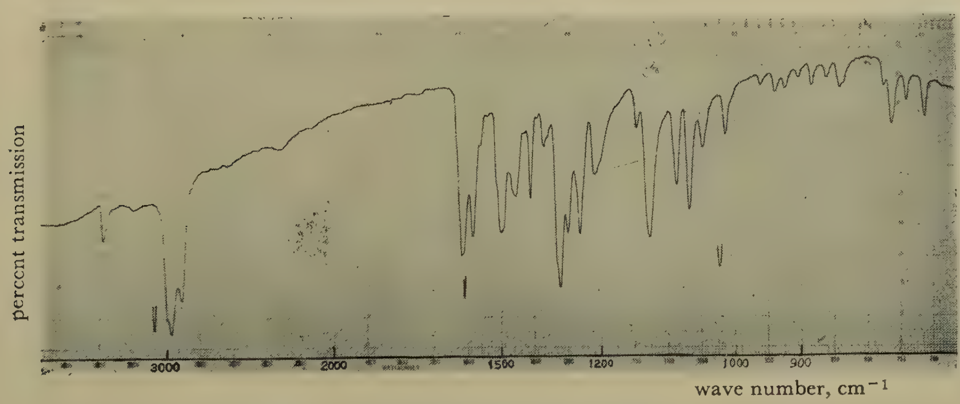
KATAYAMA: Volatile Constituents of *Codium*



5



6



7

KATAYAMA: Volatile Constituents of *Codium*

Jahreszeitliche Schwankungen des Gehaltes an Eiweiss, Milchzucker und Asche der Kuhmilch

Yūzō ANAGAMA und Takayasu KAMI

Institut für Tierzuchtlehre der Fakultät für Fischerei- u. Tierzuchtlehre an der Universität Hiroshima, Fukuyama, Japan

(I) EINLEITUNG

Über den jahreszeitlichen Einfluss auf die Höhe des Eiweissgehaltes der Kuhmilch fand VIRTANEN[1] in Finnland, dass derselbe im Oktober mit etwas über 3.50% am höchsten und im Mai mit 2.85% am niedrigsten war. OVERMAN[2] untersuchte die Milch verschiedener Rinderrassen in Staat Illinois in USA und stellte den höchsten Eiweissgehalt im November mit 3.68% und den niedrigsten im Juni mit 3.44% fest. Nach DAVIS *et al.*[3] war der Eiweissgehalt der Milch in Staat Arizona in USA im Winter der höchste und im Sommer der niedrigste.

NESENI & KÖRPRICH[4] berichteten, dass in Deutschland die Kurve für den Eiweissgehalt der Milch zwei Maxima in den Monaten Februar und Dezember und zwei Minima in den Monaten April und Juli aufwies.

In Italien fanden TORRE & FONTANELLA[5], dass der Eiweissgehalt der Milch im November am höchsten und im April am niedrigsten war. Zu ähnlichen Schlüssen kamen auch WINZENRIED[6] in Schweden und MARCKMANN & WITT[7] in Schleswig-Holstein in Deutschland. Sie fanden in ihren umfassenden Untersuchungen im November den höchsten und im April den niedrigsten Eiweissgehalt.

Nach WAITE *et al.*[8] erreichte in Schottland der Eiweissgehalt den höchsten Punkt im Mai/Juni und wieder im September und den niedrigsten von Januar bis März.

SPECHT *et al.*[9] fanden in Staat Michigan in USA die Tendenz, dass der Eiweissgehalt der Milch im Sommer sich verminderte und im Winter sich vermehrte.

Nach IMAMURA *et al.*[10] verminderte sich der Eiweissgehalt der rohen, in der Okayama-Gegend (West-Japan) gewonnenen Milch im Sommer bedeutend.

Über den jahreszeitlichen Einfluss auf die Höhe des Milchzucker- und Milchaschegehaltes liegen nur spärliche Berichte vor. VIRTANEN[1] fand deutliche Zusammenhänge zwischen Jahreszeit und Milchzuckergehalt, nämlich zwei deutliche Maxima im März und Juli und zwei Minima im Juni und September. Nach OVERMAN[2] war der Milchzuckergehalt im Mai mit 5.04% am höchsten und im Januar mit 4.86% am niedrigsten, und nach DAVIS *et al.*[3] war er im Winter der höchste und im Sommer der niedrigste.

WINZENRIED[6] ermittelte in der Kurve für den Milchzuckergehalt zwei deutliche Maxima im März (5.14%) und August (5.16%) und zwei Minima im Januar (4.14%) und November (4.02%).

Nach REINART & NESBITT[11] in Manitoba in Kanada war der Milchzuckergehalt im Winter höher und im Sommer niedriger.

WAITE *et al.*[8] fanden, dass der Milchzuckergehalt von November bis Februar ständig stieg, dass er dann auf konstant hohem Niveau bis Juni blieb und in den Monaten September und Oktober zu einem Minimum abfiel.

IMAMURA *et al.*[10] berichteten, dass auch der Milchzuckergehalt wie Eiweissgehalt im Sommer sich bedeutend verminderte.

SUPPLEE[12] zeigte, dass der Milchaschegehalt im Spätsommer am höchsten und im Frühling am niedrigsten war. Nach OVERMAN[2] war der Aschegehalt der Milch im Dezember und Januar mit 0.72% am höchsten und im Juni, Juli, August und September mit 0.69% am niedrigsten.

Wir[13] fanden, dass der Gehalt an fettfreier Trockenmasse der Kuhmilch im Fukuyama-Distrikt (West-Japan) vom Dezember bis zum März am höchsten (8.51～8.55%) und vom Juni bis zum August am niedrigsten (8.14～8.17%) war. Auf welchen Bestandteilen der fettfreien Trockenmasse beruht nun die Verminderung des Gehaltes an fettfreier Trockenmasse im Sommer? Die vorliegende Arbeit berichtet über die Ergebnisse der Untersuchung dieses Problems.

(II) MATERIAL UND METHODE

Die Untersuchung wurde ausgeführt an gemischten Milchproben, welche aus den 3 Molkereien der Stadt Fukuyama in Hiroshima-ken in je 5 Tagen von jeder Molkerei monatlich während eines Jahres gewonnen wurden. Die Milchproben wurden in jeder Molkerei aus einem Pasteurisationsapparat von etwa 360 Liter Inhalt vor Erhitzung entnommen. Jeder Molkerei wurde täglich Milch von ca. 280 Milchkühen (Holsteinrasse) geliefert.

Die Untersuchung wurde in der Zeit von Mitte September 1957 bis Ende August 1958 durchgeführt.

Die Eiweissbestimmung erfolgte nach dem Mikro-Kjeldahl Verfahren. Der Milchzuckergehalt wurde nach Lane-Eynon[14] bestimmt. Die Bestimmung des Aschegehaltes wurde nach der gewöhnlichen gewichtsanalytischen Methode ausgeführt.

(III) ERGEBNISSE UND BESPRECHUNG

Tabelle 1. Eiweissgehalt der Kuhmilch im Verlaufe des Jahres (%)

Monat \ Probe Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8
Sep. '57	2.72	3.34	3.01	2.80	2.64	2.80	3.33	2.95
Okt.	2.93	2.85	3.10	2.93	2.99	2.97	2.96	2.98
Nov.	3.06	3.18	2.90	2.99	3.04	2.95	2.98	2.98
Dez.	2.96	3.05	3.14	3.09	3.06	2.98	3.03	3.01
Jan. '58	2.87	2.91	2.93	2.90	3.00	3.01	3.05	2.89
Feb.	2.91	2.90	3.03	2.90	2.92	2.99	2.93	2.89
März	2.88	2.89	2.89	3.07	2.96	2.89	2.85	2.84
Apr.	2.97	2.93	2.90	2.87	2.78	2.91	2.91	2.88
Mai	2.92	2.88	2.92	2.90	2.95	2.89	2.86	2.89
Juni	2.89	2.81	2.79	2.80	2.83	2.81	2.82	2.92
Juli	2.82	2.81	2.77	2.81	2.82	2.87	2.83	2.93
Aug.	2.79	2.95	2.78	2.87	2.88	2.86	2.84	2.80

Monat \ Probe Nr.	9	10	11	12	13	14	15	Mittel
Sep. '57	2.91	2.93	2.87	2.88	2.86	2.97	2.97	**2.93**
Okt.	2.99	2.95	3.06	3.05	3.00	2.96	3.02	**2.98**
Nov.	3.03	3.04	3.06	3.11	3.05	3.01	3.05	**3.03**
Dez.	2.99	3.04	2.92	2.91	2.92	2.92	2.91	**3.00**
Jan. '58	2.83	3.10	2.83	2.89	2.91	2.81	2.87	**2.92**
Feb.	2.79	2.92	2.89	2.88	2.92	2.96	2.95	**2.92**
März	2.88	2.84	2.87	2.94	2.86	2.84	2.90	**2.89**
Apr.	2.86	2.82	2.83	2.92	2.88	2.85	2.85	**2.88**
Mai	2.82	2.96	2.98	2.88	2.86	2.90	2.86	**2.90**
Juni	2.85	2.92	2.84	2.89	2.86	2.89	2.81	**2.85**
Juli	2.88	2.83	2.78	2.81	2.89	2.88	2.88	**2.84**
Aug.	2.78	2.75	2.84	2.88	2.92	2.86	2.91	**2.84**

Tabelle 2. Milchzuckergehalt der Kuhmilch im Verlaufe des Jahres (%)

Monat \ Probe Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8
Sep. '57	4.31	4.29	4.31	4.23	4.27	4.29	4.24	4.26
Okt.	4.26	4.25	4.27	4.29	4.24	4.26	4.27	4.27
Nov.	4.37	4.28	4.28	4.25	4.30	4.30	4.32	4.29
Dez.	4.28	4.34	4.32	4.36	4.27	4.34	4.30	4.33
Jan. '58	4.24	4.27	4.31	4.31	4.39	4.31	4.28	4.32
Feb.	4.29	4.30	4.29	4.29	4.27	4.32	4.31	4.26
März	4.32	4.30	4.31	4.34	4.34	4.29	4.28	4.30
Apr.	4.34	4.33	4.32	4.31	4.35	4.30	4.31	4.33
Mai	4.28	4.31	4.34	4.29	4.29	4.26	4.28	4.30
Juni	4.24	4.26	4.29	4.27	4.25	4.28	4.25	4.27
Juli	4.26	4.26	4.28	4.25	4.25	4.24	4.25	4.25
Aug.	4.32	4.31	4.26	4.29	4.26	4.28	4.25	4.24

Monat \ Probe Nr.	9	10	11	12	13	14	15	Mittel
Sep. '57	4.24	4.25	4.23	4.24	4.23	4.32	4.26	**4.26**
Okt.	4.26	4.27	4.26	4.28	4.30	4.26	4.27	**4.27**
Nov.	4.30	4.28	4.29	4.31	4.26	4.33	4.32	**4.30**
Dez.	4.29	4.29	4.30	4.28	4.27	4.30	4.29	**4.30**
Jau. '58	4.32	4.31	4.30	4.29	4.28	4.29	4.28	**4.30**
Feb.	4.27	4.29	4.30	4.31	4.30	4.32	4.31	**4.30**
März	4.31	4.29	4.29	4.31	4.30	4.30	4.31	**4.31**
Apr.	4.31	4.30	4.29	4.29	4.29	4.28	4.32	**4.31**
Mai	4.29	4.31	4.31	4.29	4.28	4.31	4.27	**4.29**
Juni	4.28	4.29	4.27	4.26	4.24	4.25	4.25	**4.26**
Juli	4.25	4.28	4.27	4.25	4.24	4.27	4.26	**4.26**
Aug.	4.26	4.28	4.29	4.28	4.27	4.27	4.29	**4.28**

Tabelle 3. Aschegehalt der Kuhmilch im Verlaufe des Jahres (%)

Mnat \ Probe Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8
Sep. '57	0.71	0.73	0.70	0.69	0.69	0.71	0.71	0.71
Okt.	0.73	0.71	0.71	0.74	0.72	0.72	0.73	0.74
Nov.	0.74	0.74	0.71	0.71	0.73	0.72	0.71	0.71
Dez.	0.76	0.73	0.74	0.74	0.70	0.73	0.72	0.70
Jan. '58	0.70	0.70	0.70	0.70	0.73	0.72	0.72	0.71
Feb.	0.72	0.71	0.73	0.72	0.71	0.70	0.70	0.72
März	0.70	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.71	0.70
Apr.	0.71	0.72	0.71	0.71	0.70	0.70	0.72	0.70
Mai	0.73	0.71	0.72	0.72	0.72	0.72	0.71	0.70
Juni	0.71	0.71	0.70	0.71	0.72	0.71	0.72	0.71
Juli	0.71	0.72	0.72	0.71	0·72	0.70	0.71	0·71
Aug.	0.70	0.71	0.72	0.69	0.72	0.72	0.70	0.71

Monat \ Probe Nr.	9	10	11	12	13	14	15	**Mittel**
Sep. '57	0.72	0.71	0.69	0.68	0.68	0.73	0.72	**0.71**
Okt.	0.73	0.73	0.72	0.73	0.71	0.72	0.72	**0.72**
Nov.	0.73	0.72	0.71	0.71	0.72	0.71	0.72	**0.72**
Dez.	0.72	0.71	0.71	0.72	0.72	0.72	0.70	**0.72**
Jan. '58	0.72	0.73	0.68	0.69	0.72	0.70	0.70	**0.71**
Feb.	0.69	0.71	0.71	0.72	0.72	0.69	0.69	**0.71**
März	0.70	0.72	0.72	0.72	0.72	0.70	0.72	**0.71**
Apr.	0.70	0.72	0.70	0.72	0.72	0.70	0.70	**0.71**
Mai	0.69	0.70	0.70	0.71	0.71	0.70	0.71	**0.71**
Juni	0.72	0.71	0.70	0.72	0.71	0.70	0.71	**0.71**
Juli	0.71	0.70	0.69	0.70	0.70	0.72	0.71	**0.71**
Aug.	0.70	0.69	0.70	0.70	0.70	0.71	0.72	**0.71**

Tabelle 4. Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit im Fukuyama-Distrikt

Monat	Sep. 1957	Okt.	Nov.	Dez.	Jan. 1958	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.
Lufttemperatur (°C)												
Min.	11.3	4.1	2.1	−3.8	−3.8	−2.9	−3.6	−0.2	5.3	13.1	20.6	19.9
Max.	30.9	25.9	23.0	18.5	15.5	18.0	20.4	24.2	29.8	30.6	36.3	33.5
Mittel	20.7	15.8	11.5	6.6	4.1	5.0	7.5	13.3	17.4	22.1	26.6	26.1
Luftfeuchtigkeit (%)												
Mittel	80	79	77	74	73	73	74	77	72	76	82	82

(Nach den Messungen der Wetterwarte Matsunaga)

Tabelle 1 zeigt, dass der Eiweissgehalt der Milch im November mit 3.03% am höchsten und im Juli/August mit 2.84% am niedrigsten ist. Der Eiweissgehalt der Milch im November ist im Durchschnitt beinahe dem durchschnittlichen Gehalt im Oktober oder Dezember, aber er ist bedeutend höher als die durchschnittlichen Gehalte anderer Kalendermonate. Und der Eiweissgegalt der Milch im Juli/August ist im Durchschnitt beinahe gleich dem durchschnittlichen Gehalt im Juni, aber er ist bedeutend niedriger als die durchschnittlichen Gehalte anderer Kalendermonate.

Dieses Untersuchungsergebnis stimmt mit demjenigen von OVERMAN[2] in Staat Illinois in USA ziemlich gut überein.

Aus Tabelle 2 ist es ersichtlich, dass der Milchzuckergehalt im März/April mit 4.31% am höchsten und im Juni, Juli und September mit 4.26% am niedrigsten ist. Der Milchzuckergehalt im März/April ist im Durchschnitt beinahe gleich dem durchschnittlichen Gehalt im Januar, Februar, Mai, November oder Dezember, aber er ist bedeutend höher als die durchschnittlichen Gehalte anderer Kalendermonate. Und der Milchzuckergehalt im Juni, Juli und September ist im Durchschnitt beinahe gleich dem durchschnittlichen Gehalt im Oktober, aber er ist bedeutend niedriger als die durchschnittlichen Gehalte anderer Kalendermonate.

Dieses Untersuchungsergebnis stimmt nicht mit denjenigen früherer Autoren in Eu-

ropa und Amerika überein.

Aus Tabelle 3 geht hervor, dass der Aschegehalt der Milch von der Jahreszeit beinahe nicht beeinflusst wird und dass der Gehalt im Verlaufe des Jahres mit 0.71% beinahe konstant ist, ausser dem im Oktober, November oder Dezember. In diesen Monaten ist er 0.72%.

Wir[13] fanden, dass der Gehalt an fettfreier Trockenmasse der Kuhmilch im Fukuyama-Distrikt vom Juni bis zum August sich bedeutend verminderte. Und diesmal fanden wir, dass der Eiweissgehalt vom Juni bis zum August sich bedeutend verminderte und dass der Milchzuckergehalt im Juni, Juli, September und Oktober sich verminderte. Daher könnte man in diesem Zusammenhang auf die Vermutung kommen, dass die Senkung des Gehaltes an fettfreier Trockenmasse der Kuhmilch im Sommer durch Verminderung des Eiweissgehaltes und des Milchzuckergehaltes verursacht wurde, wobei jener die wichtigere Rolle spielte.

Worauf ist es nun zurückzuführen, dass der Milcheiweiss- und Milchzuckergehalt im Sommer sich vermindern? RIDDET *et al.*[15][16] berichteten, dass die Verminderung des Gehaltes an fettfreier Trockenmasse der Milch bei Unterernährung der Milchkühe durch Verminderung des Eiweissgehaltes der Milch verursacht wurde und dass die Verminderung des Milchzuckers dabei gering war. ROWLAND[17] fand, dass die energiearme oder eiweissarme Fütterung der Milchkühe den Gehalt an fettfreier Trockenmasse der Milch erniedrigte und dass diese Erniedrigung hauptsächlich durch Verminderung des Eiweissgehaltes der Milch verursacht wurde. Nach FEATHERSTONE *et al.*[18] und ROWLAND[19] wurde die Abnahme des Gehaltes an fettfreier Trockenmasse unter 8.5% im Spätwinter und Frühjahr hauptsächlich durch Verminderung des Eiweissgehaltes der Milch verursacht. HOLMES *et al.*[20] untersuchten den Einfluss der Fütterung auf die Milchbestandteile und fanden das folgende, interessante Resultat: Wenn das verdauliche Rohprotein in der Kraftfutterration konstant auf 16% gehalten wurde und der Stärkewert von 59% bis auf 67% vermehrt wurde, dann vermehrte sich schwach die fettfreie Trockenmasse der Milch, und diese Vermehrung wurde beinahe ganz durch Zunahme des Milcheiweissgehaltes verursacht. WAITE[21] fand, dass bei unzureichender Fütterung, insbesondere an Stärkewert, Milchmenge und Gehalt an fettfreier Trockenmasse abnahmen, wobei zwei Drittel der letzteren Senkung durch den Eiweissgehalt der Milch hervorgerufen wurde. EDWARDS[22] berichtete, dass der Unterschied des Gehaltes an fettfreier Trockenmasse zwischen der normalen (mit über 8.5% S.N.F.) Gruppe und der anomalen (mit unter 8.5% S.N.F.) Gruppe durch Verminderung des Milcheiweissgehaltes und des Milchzuckergehaltes beinahe ähnlich verursacht wurde, wobei jener die wichtigere Rolle spielte, und dass ausser unzureichender Fütterung auch die Mastitis als Ursache der Erniedrigung des Milchzuckergehaltes wichtig war. COMBERG & VOIGTLÄNDER[23] fanden, dass die Höhe der Milchmenge sowie der prozentischen Ausscheidungen an den Milchbestandteilen Fett, Eiweiss und Asche eine gewisse Beeinflussung durch den Grad der Fütterungsintensität zeigte und dass der im Vergleich zum Fettgehalt und zum Aschegehalt stärkere Abfall der Milchmenge und des Eiweissgehaltes in der Skala von der guten zur schlechten Fütterung bemerkenswert war, während sich der Milchzuckergehalt indifferent verhielt. Dagegen sagten FLUX & PATCHELL[24], dass die Verminderung

der fettfreien Trockenmasse infolge Unterernährung der Milchkühe nicht durch Verminderung des Milcheiweissgehaltes, sondern durch Verminderung des Milchzuckers verursacht werden müsste.

Ebenso betrachteten ROWLAND[25], BAILEY[26], WAITE *et al.*[8], HOLMES *et al.*[27] und PATCHELL[28] die Verminderung des Gehaltes an fettfreier Trockenmasse als das Resultat der Unterernährung der Milchkühe. Dagegen berichteten GRIFFITHS & FEATHERSTONE[29] und BURT[30], dass der Gehalt an fettfreier Trockenmasse nicht nur durch Fütterung beeinflusst wurde.

DAVIS *et al.*[31] berichteten, dass die Verminderung des Gehaltes an fettfreier Trockenmasse der Milch im Sommer vielleicht hauptsächlich durch die hohe Lufttemperatur verursacht werden möchte. Tatsächlich fanden REGAN & RICHARDSON[32], dass die hohe Lufttemperatur über 80°F (ca. 27°C) die fettfreie Trockenmasse und das Eiweiss in der Milch verringerte. Ebenso fanden COBBLE & RAGSDALE[33] und COBBLE & HERMAN[34], dass die hohe Lufttemperatur über 80°～90°F die fettfreie Trockenmasse, das Eiweiss und den Milchzucker in der Milch verminderte.

Es wird vielleicht in diesem Falle auf die hohe Lufttemperatur mit hoher Luftfeuchtigkeit des Sommers im Fukuyama-Distrikt zurückzuführen sein, dass der Milcheiweiss- und Milchzuckergehalt im Sommer sich verminderte (vgl. Tabelle 4). Für eine genaue Erklärung dieser Verhältnisse sind jedoch noch weitere Untersuchungen erforderlich.

(IV) ZUSAMMENFASSUNG

(1) Der Eiweiss-, Milchzucker- und Aschegehalt der Kuhmilch im Fukuyama-Distrikt (West-Japan) wurde während eines Jahres bestimmt.

(2) Der Eiweissgehalt der Milch war im November mit 3.03% am höchsten und im Juli/August mit 2.84% am niedrigsten.

(3) Der Milchzuckergehalt war im März/April mit 4.31% am höchsten und im Juni, Juli und September mit 4.26% am niedrigsten.

(4) Der Aschegehalt wurde von der Jahreszeit beinahe nicht beeinflusst.

(5) Es ist zu vermuten, dass die Erniedrigung des Gehaltes an fettfreier Trockenmasse der Kuhmilch im Sommer durch Verminderung des Eiweissgehaltes und des Milchzuckergehaltes verursacht wurde, wobei jener die wichtigere Rolle spielte, und dass es vielleicht auf die hohe Lufttemperatur mit hoher Luftfeuchtigkeit des Sommers in diesem Distrikt zurückzuführen sein wird.

Wir danken herzlich Herrn H. HECKER für seine sehr freundliche und sorgfältige Berichtigung des Manuskriptes.

(V) LITERATURVERZEICHNIS

(1) Virtanen, A.I. 1930. Milchwirtsch. Forsch., **9**: 355.
(2) Overman, O.R. 1945. J. Dairy Sci., **28**: 305.
(3) Davis, R.N., Harland, F.G., Caster, A.B. & Kellner, R.H. 1947. J.Dairy Sci., **30**: 435.
(4) Neseni, R. & Körprich, H. 1947. Milchwissenschaft, **2**: 389.
(5) Torre, G. D. & Fontanella, E. 1955. Latte, **29**: 167.
(6) Winzenried, H. U. 1955. Z. Tierzüchtg. Züchtgsbiol., **64**: 105.
(7) Marckmann, E., & Witt, W. 1956. Z. Tierzüchtg. Züchtgsbiol., **68**: 1.
(8) Waite, R., White, J. C. D. & Robertson, A. 1956. J. Dairy Res., **23**: 65.
(9) Specht,L. W., Brunner, J,R., Madden, D.E. & Ralston, N.P. 1956. J. Dairy Sci., **39**: 1337.
(10) Imamura,T., Kataoka,K., Suzuki,K. & Nagao,H. 1958. Sci. Rep. Fac. Agr. Okayama Univ. No. 12, p. 29 (Japan. mit engl. Zusammenfassung).
(11) Reinart, A. & Nesbitt, J. M. 1956. Proc. 14th Int. Dairy Congr., Rome, **1** (2): 957.
(12) Supplee, G. C. 1930. J. Dairy Sci., **13**: 522.
(13) Anagama, Y. & Kami, T. 1957. J. Fac. Fish. Anim. Husb. Hiroshima Univ., **1**: 373.
(14) Lane, J. H. & Eynon, L. 1923. J. Soc. chem. Ind., Lond., **42**: 32 T.
(15) Riddet, W., Campbell, I.L., McDowall, F.H. & Cox, G.A. 1941. N.Z. J. Sci. Tech., **23**: 80 A.
(16) ______, ______, ______ & ______. 1941. N. Z. J. Sci. Tech., **23**: 99 A.
(17) Rowland, S. J. 1946. Dairy Ind., **11**: 656.
(18) Featherstone, J., Rickaby, C. D. & Cavell, A. J. 1951. J. Dairy Res., **18**: 155.
(19) Rowland, S. J. 1951. Proc. 11th Int. Congr. Pure and Appl. Chem., Lond., **3**: 251.
(20) Holmes, W., Waite, R., MacLusky, D. S. & Watson, J. N. 1956. J. Dairy Res., **23**: 1.
(21) Waite, R. 1956. VII. Int. Tierzuchtkongr., Madrid, Thema V. 63.
(22) Edwards, R. A. 1958. J. Dairy Res., **25**: 9.
(23) Comberg, G. & Voigtländer, K. -H. 1958. Z. Tierzüchtg. Züchtgsbiol., **71**: 164.
(24) Flux, D. S. & Patchell, M.R. 1954. J. agr. Sci., **45**: 246.
(25) Rowland, S. J. 1944. J. Dairy Res., **13**: 261.
(26) Bailey, G. L. 1952. J. Dairy Res., **19**: 109.
(27) Holmes, W., Reid, D., MacLusky, D.S., Waite, R. & Watson, J. N. 1957. J. Dairy Res., **24**:1.
(28) Patchell, M. R. 1957. N.Z.J. Sci. Tech., **38**: 682 A.
(29) Griffiths, T. W. & Featherstone, J. 1957. J. Dairy Res. **24**: 201.
(30) Burt, A.W.A. 1957. J. Dairy Res., **24**: 283.
(31) Davis, R.N., Harland, F. G., Caster, A. B. & Kellner, R. H. 1947. J. Dairy Sci., **30**: 415.
(32) Regan, W.M. & Richardson, G.A. 1938. J. Dairy Sci., **21**: 73.
(33) Cobble, J.W. & Ragsdale, A.C. 1949. J. Dairy Sci., **32**: 713.
(34) Cobble, J. W. & Herman, H.A. 1951. Mo. Agr. Expt. Sta., Res. Bull. No. 485.

Morphological Observations on Various Spermatozoa with a New Staining Method

Shunsaku FUJII

Department of Animal Husbandry, Faculty of Fisheries and Animal Husbandry, Hiroshima University, Fukuyama

(Pls. 1–4)

(I) INTRODUCTION

There are many methods for the staining of spermatozoa which are highly stainable. Generally carbol fuchsin, gentian violet and rose bengal are used. Differential staining with a mixture of several acid dyes, such as azan staining, is available for detailed observation of each constituent of the sperm. The author (1956, b) reported that a mixture of three acid dyes, i. e. anilin blue, ponceau PR and picric acid, was useful for this purpose. On the other hand, the silver impregnation method gives excellent results in staining spermatozoa, though it is more or less complicated and the results are not always invariable. Such silver method has been reported by several authors. HARA (1943) observed the fine structure of the sperm of various species with his own silver method. The so-called FONTA method, which is applied to protozoa, is one of the silver methods for the sperm.

The present paper describes a silver method to stain the sperm. This method is especially suitable for observation of the microstructure of the middle-piece of the spermatozoon, as this portion alone is stained selectively dark violet and the remaining portion brown by this method.

The author wishes to acknowledge the helpful encouragement given during this work by Professor Y. TSUJI of the Laboratory of Veterinary Science to which he belongs.

(II) STAINING METHOD

1. The semen is smeared on a slide and, when almost dried, it is fixed with 10 per cent formalin solution for a few hours.
2. The slide is washed with running tap water for about 10 minutes.
3. A dilute gold chloride (add a few drops of 1 per cent solution of gold chloride in 5 cc of distilled water) is mounted fully on the slide at about 37°C for about a few minutes.
4. Without washing or rinsing short with distilled water, the slide is covered with a silver-nitrate gelatin solution (a mixture of equal parts of 1 per cent solution of gelatin and 2 per cent silver nitrate solution) for about 3～4 minutes at 37°C. In this case,

whether the slide is rinsed or not with the distilled water has an important effect upon the staining results. On this point it will be discussed later in detail.

5. The silver nitrate solution is removed and reduction is made with a hydroquinone gelatin solution (a mixture of equal volumes of 1 per cent gelatin solution and 0.5 per cent hydroquinone solution) at 37°C for about 1~2 minutes until the middle-pieces of the spermatozoa become dark violet.

6. The slide is washed thoroughly with tap water, dehydrated with alcohol, cleared and mounted with balsam.

In preparations well stained, the middle-piece is homogeneously shown in a dark violet tint and the head, as well as the tail, in a brown tint. In preparations in which the gold chloride was rinsed with the distilled water, however, the middle-piece is not stained dark violet homogeneously, but only the spiral filament revolving around the middle-piece is stained selectively and distinctly. When specimens are dried too much before fixation, all the portions of the spermatozoon, including the middle-piece, are stained dark violet. On the contrary, when they are washed too long after fixation, the middle-piece is not stained selectively but the whole spermatozoon is stained brown.

All the solutions should be prepared from chemicals of high purity immediately before use and stored in dark. They can be kept only for a few days.

(III) STAINING RESULTS

The findings on spermatozoa of several species of animals stained by the author's method are as follows:

1. Observation on normal spermatozoa

a. Spermatozoa of the mouse

Fig. 1 shows the spermatozoa of the mouse collected from the epididymis and stained by this silver method. The middle-piece or body lying between the neck and the tail is stained intensively dark violet. Frequently, the acrosomes are also stained dark violet.

Fig. 5 shows a specimen in which the gold chloride solution was washed off in a moment. The middle-piece has a distinct helical structure known as the spiral filament or spiral fiber, which is developed around the central core or axial filament. These spiral filaments have already been observed in detail by several investigators, such as JENSEN (1887) with the light microscope, RANDALL (1950) and YASUZUMI (1950) with the electron microscope and NAKANISHI (1955) with the phase-contrast microscope. In this figure, the spiral filament appears to turn about 42 times around the axial filament from left to right or the reverse.

Fig. 9 shows the regularly revolving spiral filament of mouse spermatozoa stained supravitally with Victoria blue 4R by the method of FUJII (unpublished). Victoria blue 4R is a dye recommended by SEKI (1956) for the staining of lipids. Such helical structure has been observed only in the immature sperm collected from the testis but no longer in the mature one from the tail of the epididymis (Fig. 10). As compared with

Fig. 9, the helical structure shown in Fig. 5 must no doubt be the true spiral filament. By using this method, a delicate periodical structure was also demonstrated in a cytoplasmic sheath enclosing the axial filament along the whole length of the tail-piece.

b. Spermatozoa of the rat

Rat spermatozoa stained by the author's method are shown in Fig. 6 and the fine structure of the middle-piece in Fig. 2. The photomicrograph in Fig. 11 shows rat spermatozoa stained supravitally with Victoria blue 4R, as mentioned above. The middle-piece is long in proportion to the exceedingly long tail. Therefore, the spiral filaments of rat spermatozoa revolve about 120 times and coil in the same way as those of mouse spermatozoa.

c. Spermatozoa of the rabbit

Rabbit spermatozoa collected from the tail of the epididymis are shown in Fig. 3 and the photograph of the fine structure of the middle-piece is given in Fig. 7. The middle-piece of rabbit spermatozoa is stained selectively dark violet like that of mouse spermatozoa, with a revolving spiral filament. The spiral filament is not so distinct as in mouse spermatozoa and revolves about 20 times. Occasionally, one or two of the granular bodies described by YAMANE (1925) are demonstrated in the center of the head as dark stained structures (Fig. 8).

d. Spermatozoa of other mammals

Spermatozoa of the bull, boar and guinea-pig are shown in Figs. 12, 14 and 16, respectively. The fine structure of the middle-piece of these spermatozoa is illustrated in Figs. 13, 15 and 17, respectively. In these figures, the spiral filament is also visible more or less distinctly in the middle-piece. The spiral filament seems to turn about 30 times in bull spermatozoa and about 20 times in boar and guinea-pig spermatozoa.

e. Spermatozoa of birds

The spermatozoa of birds are remarkably long and slender. It is impossible to differentiate such three typical portions as those of mammalian spermatozoa with an ordinary stain. The spermatozoa of the cock and duck are shown in Figs. 4 and 18, respectively. Their portion corresponding to the middle-piece of mammalian spermatozoon is stained selectively and differentiated clearly from the other portions of the spermatozoon. A detailed observation on the middle-piece disclosed a spiral filament revolving about 5～6 times which no doubt developed from mitochondria as in the mammalian spermatozoon. This filament is not clearly described in BONADONNA's paper (1954) of the electron microscopy of *Gallus gallus*. The acrosome situated at the apical end of the head is stained dark violet.

2. Observation on abnormalities of the middle-piece of spermatozoa

There are many reports on the abnormalities of spermatozoa, most of which are lim-

ited to the head and the tail portions. The abnormalities of the middle-piece are not reported so much because it is difficult to visualize its fine structure by the ordinary staining. However, by means of the author's method, observations can be made not only on the abnormalities at large but also on the special deformities of the middle-peice. As for the deformities of the middle-piece of human spermatozoa, they are divided by WALTER & WILLIAMS (1950) into three principal groups: an enlargement of the middle-piece, a simple deformity of the middle-piece, including a variation in length, and thickening and disorder of the mitochondrial sheath. The abnormalities of mouse spermatozoa observed by the author's silver method are as follows:

The present paper deals only with the abnormalities of the middle-piece. The most frequently observed are spermatozoa with somewhat distinguished spiral structure in the middle-piece. They scatter among those with no distinct helical structure and a homogeneous dark appearance, as shown in Fig. 19. They may not be considered abnormal forms and be classified as immature spermatozoa. This assumption is obtained from the staining results of Victoria blue 4R; that is, the fact that immature spermatozoa collected from the testis show a clear helical structure of the middle-piece and that mature ones from the tail of the epididymis are devoid of such structure entirely, will give a basis for explanation that the helical structure becomes invisible with the maturity of spermatozoa. The second largest group of abnormalities consists of spermatozoa with an abnormal arrangement of spiral filament, such as a little irregular arrangement of the filament (Fig. 20), partial loss of the filament in various places along the middle-piece (Fig. 21), and entire loss of the filament (Fig. 22). The third group is composed of spermatozoa with deformity of spiral filament: partial (Fig. 23) and entire (Fig. 24) deformation of the filament, a massive accumulation of the filament without uniform arrangement around the axial filament (Fig. 25), and a bare axial filament due to lack of mitochondrial sheath (Fig. 26). Moreover, there are spermatozoa accompanied by the dissection of the spiral filament, which consequently forms a shrunk mass of filament (Fig. 27).

All these abnormalities of the spiral filament show the disorder at the end of spermatogenesis. As a whole, the abnormalities of the middle-piece are independent or accompanied by deformities of the other portions. The latter cases are found more frequently.

(IV) DISCUSSION

The author (1956, a) reported a new method by which mitochondria are stained selectively and distinctly with the silver method. The method used in the present experiment is a slight modification of the original one in respect to the kind of fixative and the use of gold chloride. When the original method was described, the reasons why mitochondria were demonstrated by means of silver staining were determined as follows: First, when the tissue is immersed in the gold chloride solution, it is impregnated by the solution. When it is dipped in silver nitrate solution long enough, the gold chloride is washed off easily from rough structure, but remains in more densely constructed mitochondria. Accordingly, the combination of cation of silver nitrate and anion of gold

chloride is deposited as insoluble salt. By addition of reducing agents both gold cation and chlorine anion are reduced. An interesting point of this method consists in a dark violet staining of the middle-pieces of spermatozoa. It has been widely accepted that the middle-piece has an axial filament in the center and outside of it and that the spiral filament develops from the mitochondria of the spermatids. Therefore, it is probably due to the same mechanism as considered above that the spiral filament is selectively stained dark violet.

With the maturity of spermatozoa, such a dense substance as mitochondria rich in lipids is accumulated in cytoplasmic crevices of the spiral filament, so that the whole length of the middle-piece stains homogeneous.

(V) SUMMARY

A new silver method was described for the staining of spermatozoa. The method was performed as follows: First, smears of spermatozoa were fixed with 10 per cent formalin and dealt with a dilute gold chloride solution. Then they were impregnated with silver nitrate solution and finally reduced with hydroquinone. The principle of this method is that the middle-piece of the spermatozoa is selectively and distinctly stained in a dark violet tint. Besides, with a slight modification of the original method, the spiral filament in the middle-piece, which was derived from mitochondria and usually is not stained by the ordinary method, may be demonstrated easily. Therefore, it may be said that this method is especially available for the study of fine structure of the middle-piece as well as its general morphology. By using this method, the minute structures of the middle-pieces of spermatozoa of some species were observed and the abnormalities of that portion were demonstrated in photograph.

(VI) REFERENCES

BONADONNA, T. 1954. Observations on the sub-microscopic structures of *Gallus gallus* spermatozoa. Poultry Sci., **33**: 1151–1158.

FUJII, S. 1956, a. Methode zur sehr elektiven und sehr distinkten Darstellung der Mitochondrien durch Versilberung. Arch. Hist. Jap., **11**: 303–316.

——— 1956, b. Über die Veränderungen der Ultrastrukturdichte der Spermien während ihrer Reifung. Arch. Hist. Jap., **11**: 361–370.

——— Note on sperm cells supravitally stained in Victoria blue 4R (unpublished).

JENSEN, O. S. 1887. Untersuchungen über die Samenkörper der Säugetiere, Vögel und Amphibien. Arch. Mikr. Anat., **36**: 379–429.

HARA, W. 1943. Studies on the microstructure of spermatozoa. Acta Anat. Jap., **21**: 623–670 (in Japanese).

NAKANISHI, Y. 1955. The formation and structure of the middle-piece of the mouse spermatozoon observed by phase microscopy and after some chemical treatment. Jap. J. Genetics, **30**: 128–132 (in Japanese).

RANDALL, J. T. & FRIEDLANDER, M. H. G. 1950. The microstructure of ram spermatozoa. Exp. Cell Rec., **1**:1–46.

SEKI, M. 1956. Methodik zur Färbung der freien dipolhaltigen Lipoiden in ihren natürlichen Zuständen. Arch. Hist. Jap., **10**: 601–610.

WALTER, W. & WILLIAMS, M. D. 1950. Cytology of the human spermatozoon. Fertility and Sterility, 1: 199-215.

YAMANE, J. 1925. Über das Vorkommen von zwei eigentümlichen Körper als konstante Gebilde im Kopfe der Säugetierespermien. Jap. J. Zool., 1:109-118.

YASUZUMI, G. 1950. Electron microscopical observation on the spermatozoon. Electron Microscopy, 1: 25-28 (in Japanese).

EXPLANATION OF PLATES

Spermatozoa stained by the author's silver method. In method A gold chloride was not washed off, while in method B it was washed off before staining.

Plate 1.

Fig. 1. Spermatozoa of the mouse by method A. The middle-piece is stained dark violet homogeneously and selectively and the remaining portion brown.

Fig. 2. Sprmatozoa of the rat by method B. The spiral filament of the middle-piece is distinct.

Fig. 3. Spermatozoa of the rabbit by method A.

Fig. 4. Spermatozoa of the cock by method A. The middle-piece is stained dark violet selectively.

Plate 2.

Fig. 5. Spermatozoa of the mouse by method B.

Fig. 6. Spermatozoa of the rat by method A.

Fig. 7. Spermatozoa of the rabbit by method B.

Fig. 8. Rabbit spermatozoa showing the bodies stained dark.

Fig. 9. Mouse spermatozoa collected from the testis stained supravitally with Victoria blue 4R. The spiral filament is shown regularly.

Fig. 10. Mouse spermatozoa collected from the tail of the epididymis stained supravitally with Victoria blue 4R. The spiral filament is not shown.

Fig. 11. Rat spermatozoa collected from the testis stained supravitally with Victoria blue 4R.

Plate 3.

Fig. 12. Spermatozoa of the bull by method A.

Fig. 13. Spermatozoa of the bull by method B.

Fig. 14. Spermatozoa of the boar by method A.

Fig. 15. Spermatozoa of the boar by method B.

Fig. 16. Spermatozoa of the guinea-pig by method A.

Fig. 17. Spermatozoa of the guinea-pig by method B.

Plate 4.

Fig. 18. Spermatozoa of the duck by method A. The middle-piece is stained dark selectively and coils in spiral form.

Fig. 19. The spermatozoon with spiral structure in the middle-piece is an immature one and those stained dark homogeneously are mature ones.

Fig. 20. A spermatozoon showing a slightly abnormal arrangement of spiral filament.

Fig. 21. A spermatozoon showing partial loss of spiral filament (bottom).

Fig. 22. A spermatozoon showing entire loss of spiral filament (right).

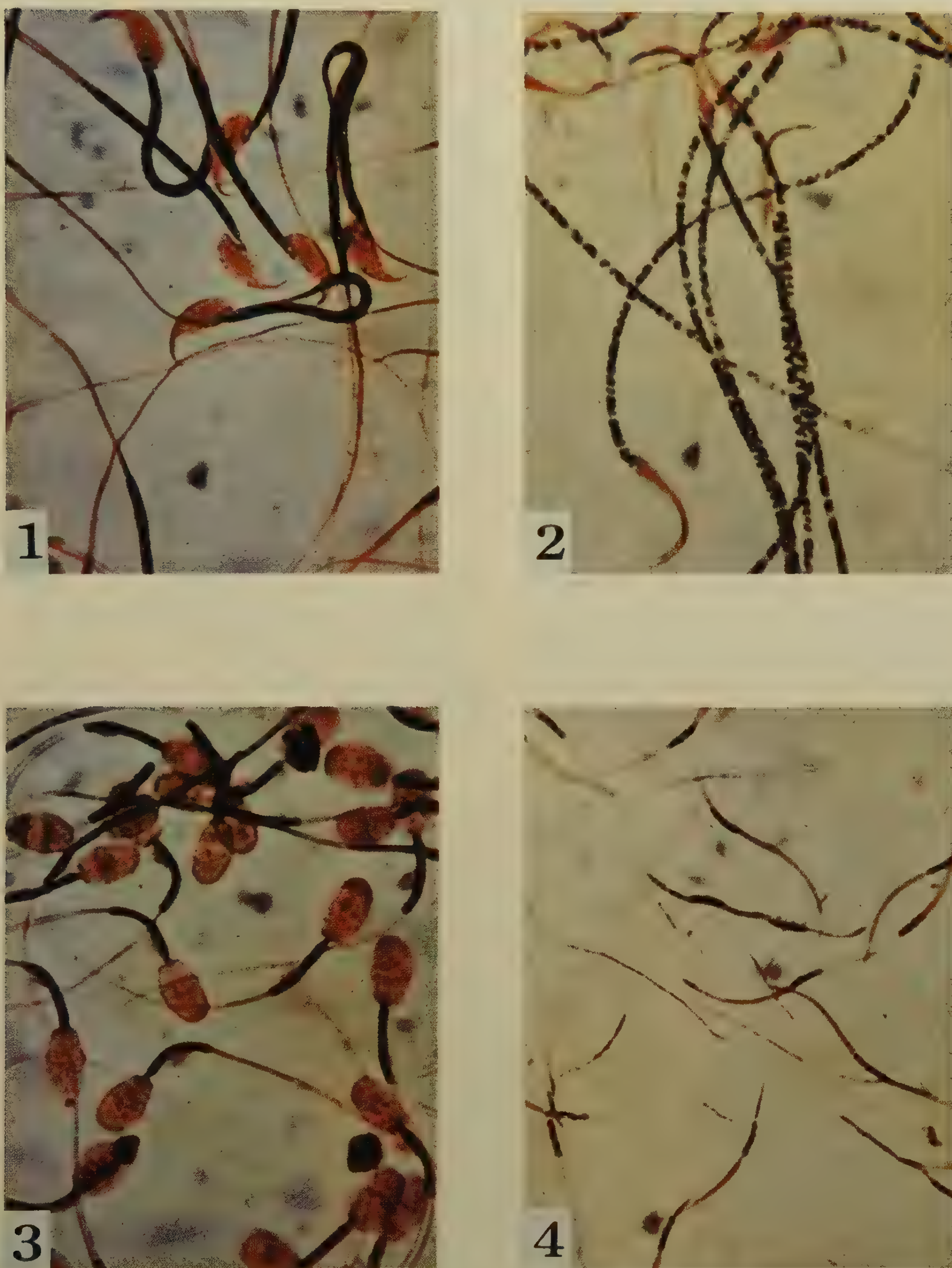
Fig. 23. A spermatozoon showing partial deformation of spiral filament (top).

Fig. 24. A spermatozoon showing deformation of spiral filament (left).

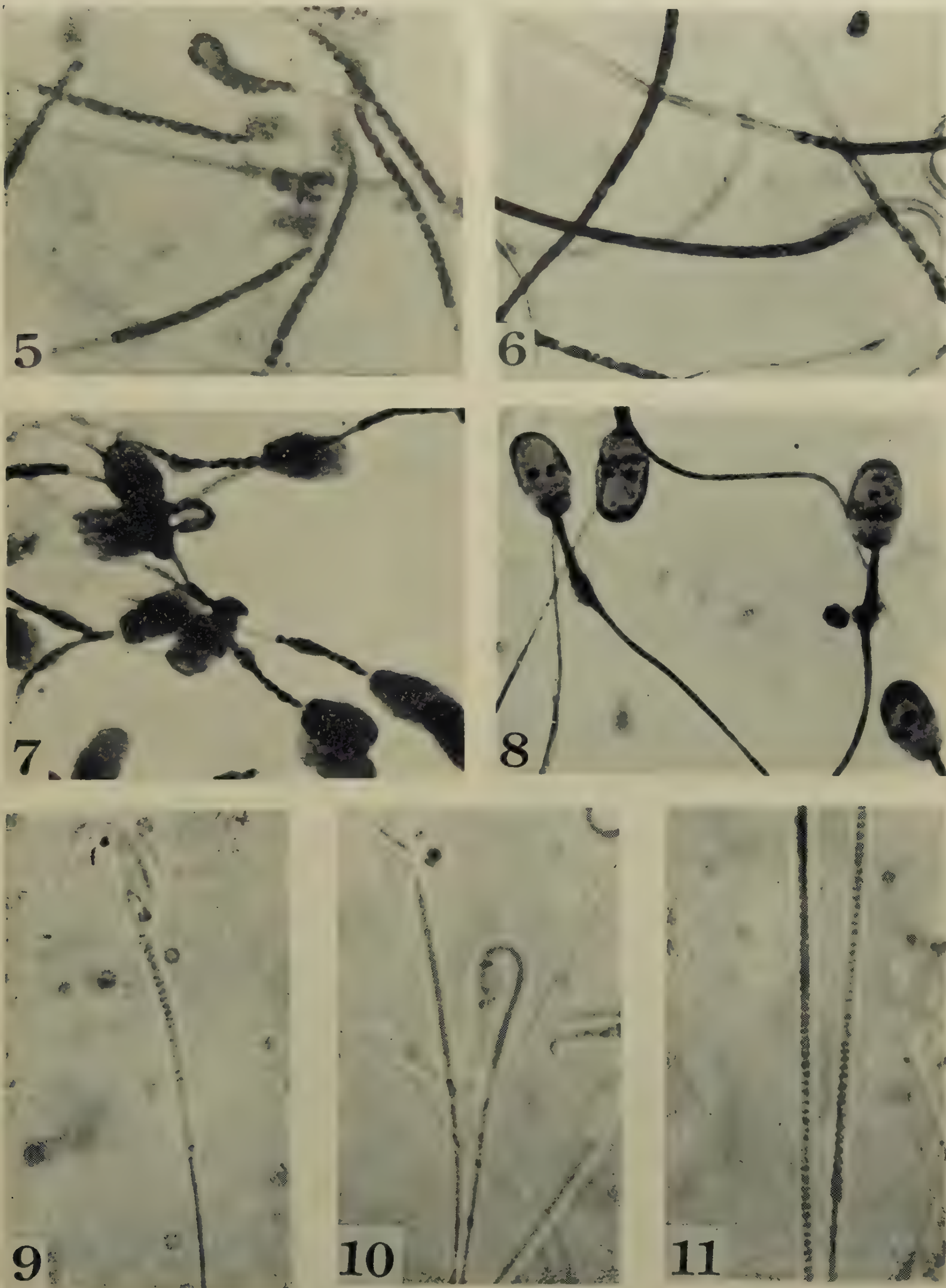
Fig. 25. A spermatozoon with a massive accumulation of spiral filament (right), a normal spermatozoon (bottom) and a spermatozoon with a deformation of spiral filament (top).

Fig. 26. A spermatozoon with a bare axial filament, showing loss of spiral filament.

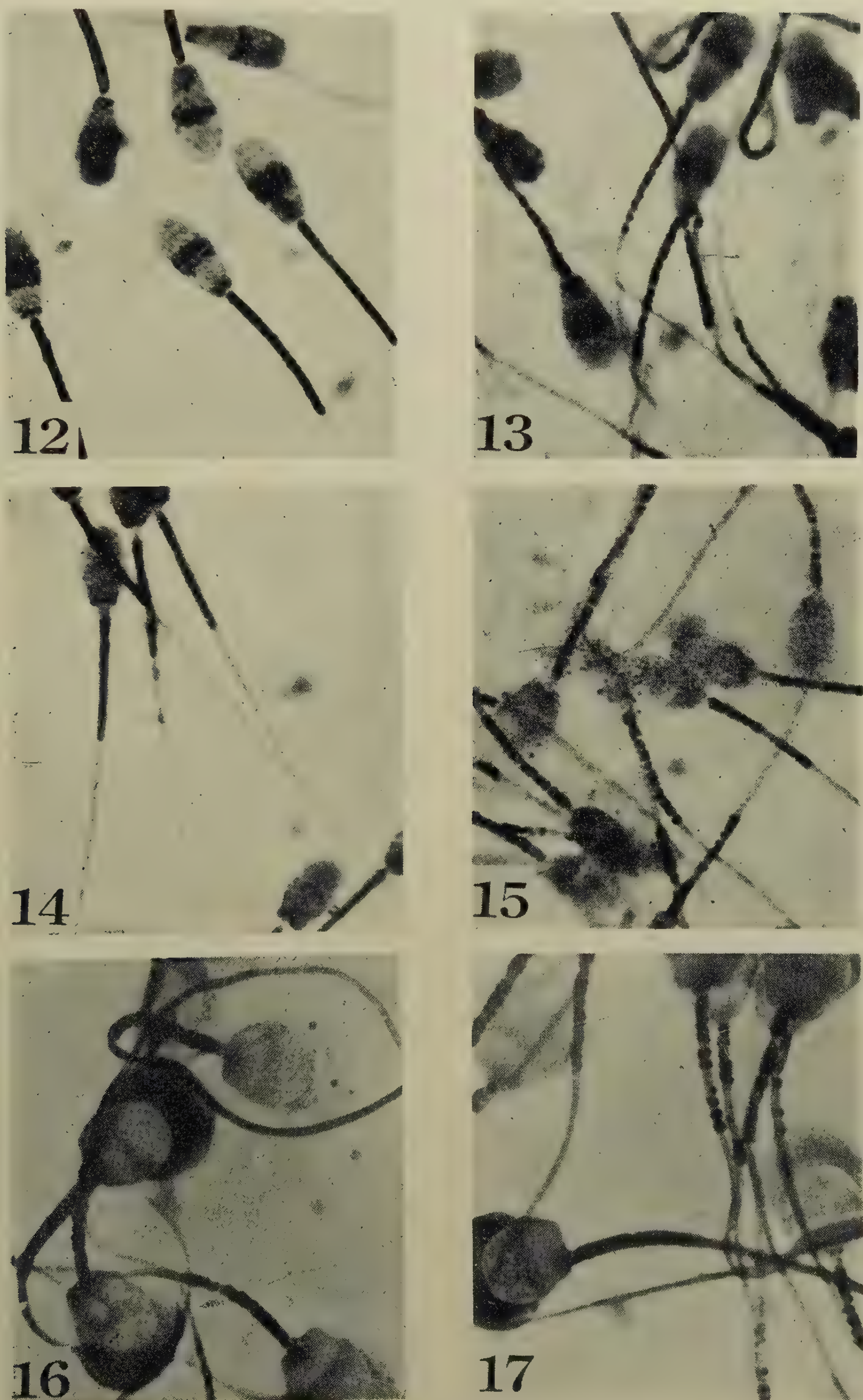
Fig. 27. A spermatozoon with a dissection of spiral filament (left) and one with a bare axial filament (middle).



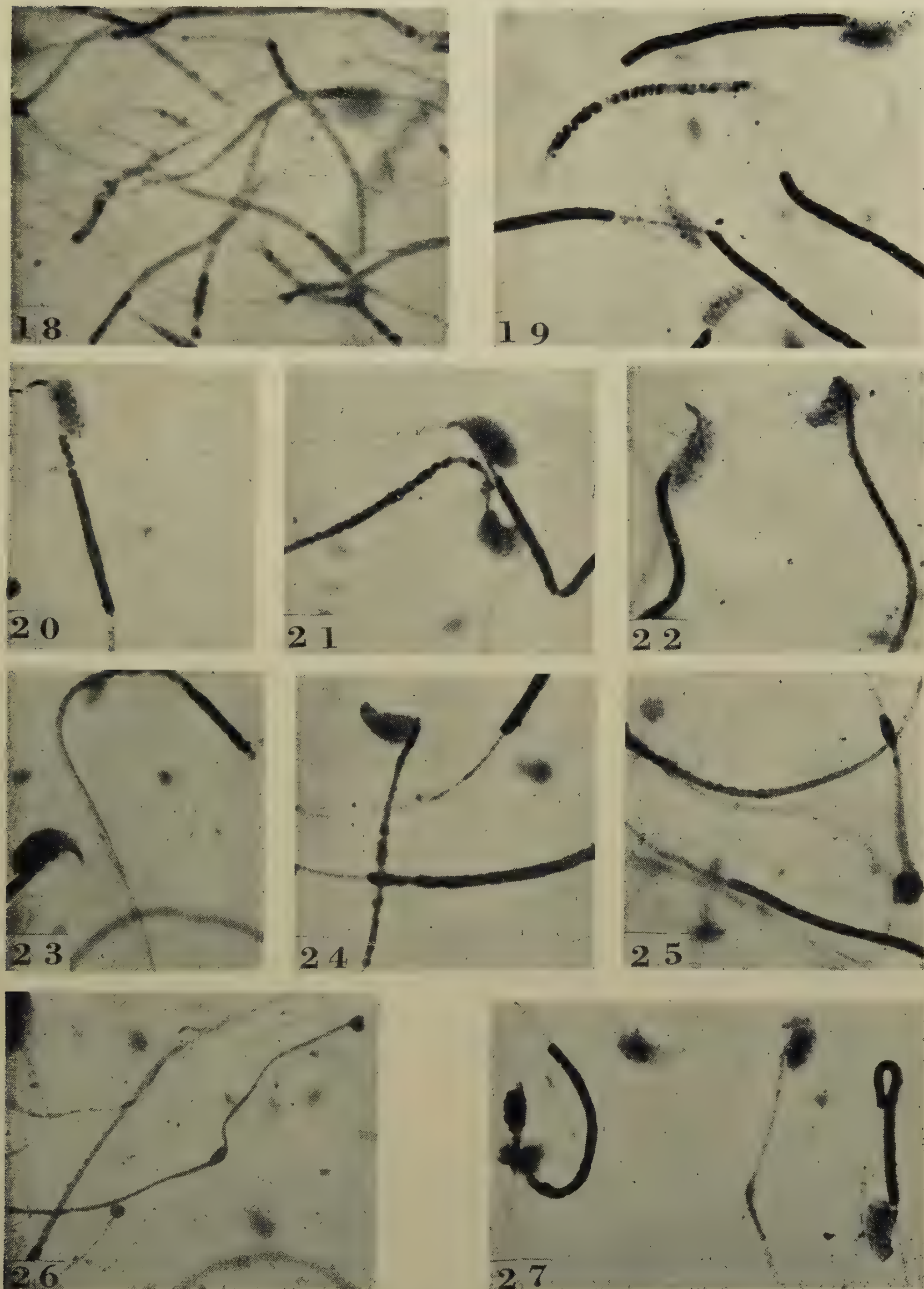
FUJII: Spermatozoa with a New Staining Method



FUJII: Spermatozoa with a New Staining Method



FUJII: Spermatozoa with a New Staining Method



FUJII: Spermatozoa with a New Staining Method

A Study of the Soil for Coating the Stems of Mat Rushes

Minoru IKEDA and Eitarô MATSUI

Department of Animal Husbandry, Faculty of Fisheries and Animal Husbandry, Hiroshima University, Fukuyama

(Plates 1–3; Text-figs. 1–6; Tables 1–25)

(I) INTRODUCTION

Japanese mats are one of the most important furnishings in the Japanese daily life. The mats are made by placing a matting of rushes on a woven rice straw. The size of mat is ca. 1 m wide, ca. 2 m long and ca. 5 cm thick.

The mat rush (*Juncus effusus* L. var. *decipiens* BUCHEN) is a perennial plant and is almost always transplanted in the paddy field in November. In the latter part of July the plant is harvested in the early morning on days of good weather and soaked in the mud water. After soaking, the stems of the mat rush are spread on the ground for drying. Soaking the stems of the mat rush in the mud water hastens the drying of the stems. Quick drying of the stems of the mat rush is necessary in order to prevent the oxidation of chlorophyll in the stems and thus preserve the brand-new look of the stems. All Japanese are fond of brand-new mats.

Up to date studies on the breeding[1)2)], cultivation[3)4)5)] and fertilizing[6)7)8)9)10)11)12)13)] of mat rushes have been carried out, but not yet on soil colloid which coats the stems. So the nature and properties of this soil colloid were studied by the authors.

At this juncture in reporting this study the authors express our gratitude to Mr. T. NAKANO, Chief of the East Branch of Agricultural Experiment Station, Hiroshima Prefecture; and Mr. T. KIMURA, Technician of the East Branch of Agricultural Experiment Station, Hiroshima Prefecture; and Assistant Professor I. OTANI, Faculty of Fisheries and Animal Husbandry, Hiroshima University for their kind-hearted suggestions. Photographs of colloid by the electron microscope were taken by Assistant A. YOKOHATA, Hiroshima Agricultural College. This study was carried out with the support of the Department of Agriculture and Forestry, Japan. We wish to express our thanks for this help.

(II) EXPERIMENT

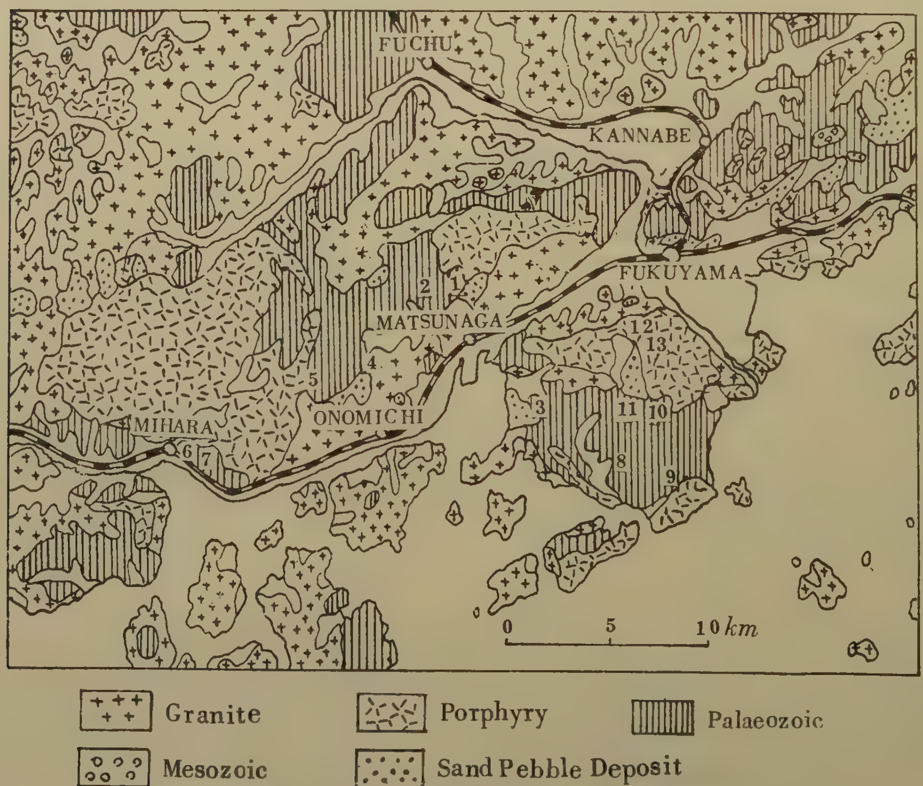
1) Producing districts and geological system of soils

The best known producing districts of soils which coat the stems of mat rushes are Hiroshima Prefecture and Hyôgo Prefecture in the Chûgoku District. In Hiroshima Prefecture, the producing districts are limited to those areas near Mihara, Onomichi

and Matsunaga in the southeast part of the Prefecture. In Hyôgo Prefecture the producing district is Akashi, in the south part of the Prefecture. The geological system of these producing districts is shown in Table 1.

Table 1. Geological system of producing districts

No.	Locality	Geological system
	Hiroshima Prefecture	
1	Matsunaga, Kamura	Palaeozoic
2	〃 Hongô	〃
3	〃 Kanae	〃
4	Onomichi, Kajiyamada	Granite
5	〃 Takasu	Palaeozoic
6, 7	Mihara, Fukamachi	〃
8	Numakuma-gun, Shirahama	〃
9	〃 Tomoji	〃
10	〃 Mizuochi	〃
11	〃 Kumano, Uenohara	〃
12, 13	Fukuyama, Seto	Granite Porphyry
	Hyôgo Prefecture	
14	Akashi, Ôkura	Diluvium
15	〃 Ôkubo	〃



Text-fig. 1. Geological map of the southeastern part of Hiroshima Prefecture

There are eleven producing districts in Hiroshima Prefecture. The geological system of soil found at Kajiyamada belongs to Granite, at Seto to Granite Porphyry, and in the other areas to Palaeozoic. The nature and properties of the soils differ according to the districts, and since all soil horizons are very thick, it is considered that a supply for many years in the future may be possible.

The producing districts in Hyôgo Prefecture form a table land, and its geological system is Diluvium. The soil class belongs to clay and texture of the soil is very compact.

2) pH and soil color

After drying and sieving, pH of soils was determined by the glass electrode. The color of the dried soils was compared to the Standard Color Chart.

Table 2. pH and soil color

No.	Locality	pH	Soil color
1	Kamura	4. 95	whitish grey
2	Hongô	6. 70	〃 〃
3	Kanae	6. 15	light, brownish grey
4	Kajiyamada	4. 85	light, yellowish grey
5	Takasu	4. 55	yellowish grey
6	Fukamachi A	5. 40	light, yellowish grey
7	〃 B	5. 80	whitish grey
8	Shirahama	4. 90	light, brownish grey
9	Tomoji	5. 75	light, yellowish grey
10	Mizuochi	6. 30	yellowish grey
11	Uenohara	6. 06	〃 〃
12	Seto A	5. 60	light, brownish grey
13	〃 B	5. 71	〃 〃 〃
14	Ôkura	6. 15	bluish grey
15	Ôkubo	6. 21	〃 〃

Soil color was divided into five groups: whitish grey (1. Kamura, 2. Hongô, 7. Fukamachi B); light, yellowish grey (4. Kajiyamada, 6. Fukamachi A, 9. Tomoji); yellowish grey (5. Takasu, 10. Mizuochi, 11. Uenohara); light, brownish grey (3. Kanae, 8. Shirahama, 12, Seto A and B); and bluish grey (14. Ôkura, 15. Ôkubo). There are some differences in soil color to observe in detail. For example, though color of Kamura soil is whitish grey, it looks bluish grey in some parts.

The lowest pH of soil is 4.55 and the highest is 6.70. In fifteen samples, four soils show pH 4.0, five 5.0 and six 6.0. The reaction of all soils is acid.

3) Chemical properties of soils

a) *Moisture content:* Place 1 g of air-dried fine soil in a wide-mouthed weighing

bottle and heat at 105°C in an electric oven 5 hours. Report loss in weight as % based upon H_2O-free weight of sample.

b) *Loss on ignition:* Ignite soil to full redness in crucible, stirring occasionally, until organic matter is destroyed. Cool in desiccator, weigh and report % loss in weight as loss on ignition.

c) *Total nitrogen:* Digest 10 g of soil in 500 ml Kjeldahl flask with 30–40 ml of H_2SO_4 and ca. 10 g of salt mixture (9 parts of K_2SO_4 and 1 part of $CuSO_4$). Continue digestion until mixture is colorless or nearly so. After cooling, dilute contents of flask with H_2O, add excess of ca. 45% NaOH solution, connect flask with condenser and distill 150 ml into standard acid. Titrate excess acid with 0.1 N alkali, using methyl red indicator.

d) *Humus:* Humus was determined by the wet combustion method, namely by decomposing the organic matter with chromium sulphate, absorb CO_2 in KOH of kali-bulb. Weigh kali-bulb and multiply 0.5.

e) *HCl soluble matter:* Put 5 g air dried fine soil in 300 ml flask, add 50 ml HCl (sp. gr. 1.10) and heat one hour in water bath. After filtration, separate SiO_2 and other elements were determined by the usual methods.

The contents of several elements determined by the above mentioned methods are shown in Table 3.

As shown above there are some differences in several elements of the soils in both Hiroshima and Hyôgo Prefectures. In the soils of Hiroshima Prefecture, the content of moisture, loss on ignition, humus, total nitrogen, Na_2CO_3 soluble SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, TiO_2 and MnO seemed to be more in dark color soils than in light color soils, but no such tendency was found with CaO, MgO, P_2O_5, SO_3, K_2O and Na_2O.

In comparing the average result of soils in Hiroshima Prefecture with those of Hyôgo Prefecture, the content of total nitrogen, Fe_2O_3, CaO and MgO is more in Hyôgo Prefecture soils than in Hiroshima Prefecture ones.

4) Soil colloid and its chemical properties

Soil particles which have a diameter of less than 0.002 mm are regarded as soil colloid, and colloid is separated by the sedimentation method. The International Pipette Method is the sedimentation method and the separated soil particles with diameter of less than 0.002 mm are designated as clay.

The sedimentation method has some defects such as the length of time required for separation, the possible occurrence of convection by variation in temperature and the possible putrefaction of soils rich in organic matter.

As soils used for the coating of mat rushes contained little or no organic matter owing to the composition and soil color as seen in Table 3, there was no fear of putrefaction of organic matter during the separation of soil colloid.

Soil colloid was separated in a room where a constant temperature was maintained, so that there was no convection by the variation of temperature.

The content of clay, that is soil colloid, is 39.65% in maximum, 8.32% in minimum and 23.07% in average, and it seems that the content is more in dark colored soils than

Table 3. Chemical composition (1)

No.	Locality	Soil color	Moisture	Loss on ignition	Humus	Total N	HCl sol. SiO_2	Na_2CO_3 sol. SiO_2%	Total SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	CaO	MgO	P_2O_5	SO_3	K_2O	Na_2O
			%	%	%	%	%		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1	Kamura	whitish grey	1.21	2.87	0.089	0.002	0.114	8.744	8.858	2.712	1.157	0.046	0.010	0.100	0.022	0.055	0.103	0.171	0.180
2	Hongô	〃 〃	1.22	2.78	0.025	0.009	0.120	10.578	10.698	1.779	1.158	0.035	0.008	0.093	0.015	0.048	0.086	0.113	0.188
7	Fukamachi B	〃 〃	2.34	3.91	0.025	0.003	0.098	7.273	7.371	9.992	0.798	0.046	0.017	0.110	0.076	0.123	0.048	0.235	0.188
4	Kajiyamada	light, yellowish grey	1.32	6.94	0.089	0.011	0.118	7.603	7.721	3.743	1.956	0.046	0.012	0.101	0.018	0.045	0.052	0.250	0.236
6	Fukamachi A	〃 〃 〃	2.91	3.44	0.026	0.006	0.061	7.812	7.873	3.769	1.112	0.048	0.014	0.111	0.101	0.101	0.060	0.097	0.215
9	Tomoji	〃 〃 〃	2.11	2.00	0.064	0.014	0.086	11.384	11.470	3.370	1.637	0.093	0.030	0.137	0.033	0.110	0.086	0.277	0.174
5	Takasu	yellowish grey	2.94	4.68	0.095	0.008	0.116	10.593	10.709	5.573	2.196	0.046	0.010	0.080	0.072	0.035	0.062	0.224	0.226
10	Mizuochi	〃 〃 〃	2.12	4.65	0.087	0.014	0.080	28.262	28.342	12.549	6.707	0.543	0.080	0.127	2.513	0.091	0.172	0.259	0.231
11	Kumano	〃 〃 〃	2.89	5.51	0.329	0.011	0.071	22.088	22.159	10.741	5.908	0.514	0.083	0.124	0.862	0.065	0.127	0.263	0.229
3	Kanae	light, brownish grey	4.48	8.94	0.063	0.028	0.108	27.970	28.070	11.587	6.946	0.542	0.048	0.295	1.589	0.076	0.069	0.293	0.236
8	Shirahama	〃 〃 〃	3.11	5.49	0.193	0.016	0.120	14.380	14.500	7.308	5.349	0.210	0.025	0.146	0.056	0.112	0.069	0.214	0.175
12	Seto A	〃 〃 〃	5.39	10.23	0.055	0.014	0.061	21.495	21.556	11.913	3.553	0.243	0.037	0.112	0.109	0.039	0.132	0.236	0.199
13	〃 B	〃 〃 〃	3.06	6.81	0.288	0.040	0.098	12.919	13.017	7.748	3.433	0.204	0.046	0.100	0.211	0.043	0.086	0.230	0.141
14	Ôkura	bluish grey	3.96	3.49	0.144	0.280	0.001	16.525	16.526	7.940	5.751	0.054	0.056	1.400	1.955	0.116	0.084	0.338	0.273
15	Ôkubo	〃 〃	3.07	5.96	0.067	0.275	0.002	12.625	12.627	6.844	5.113	0.041	0.037	0.735	1.548	0.116	0.084	0.338	0.278

Table 4. Chemical composition (2)

	Hiroshima Prefecture			Hyôgo Prefecture
	Maximum %	Minimun %	Average %	Average %
Moisture	5.390	1.210	2.700	3.527
Loss on ignition	10.230	2.000	5.250	4.953
Humus	0.329	0.025	0.109	0.105
Total N	0.040	0.002	0.013	0.377
HCl sol. SiO_2	0.120	0.061	0.096	0.001
Na_2CO_3 sol. SiO_2	28.262	7.273	14.700	14.575
Total SiO_2	28.302	7.371	14.795	14.576
Al_2O_3	12.549	1.779	7.137	7.392
Fe_2O_3	6.946	0.748	3.223	5.432
TiO_2	0.543	0.035	0.201	0.047
MnO	0.083	0.008	0.032	0.046
CaO	0.295	0.080	0.126	1.067
MgO	2.513	0.015	0.436	1.751
P_2O_5	0.123	0.035	0.076	0.081
SO_3	0.172	0.048	0.089	0.070
K_2O	0.282	0.097	0.219	0.346
Na_2O	0.236	0.141	0.185	0.275

Table 5. Mechanical analysis of soils

No.	Locality	Coarse sand (2-0.2mm)	Fine sand (0.2-0.02mm)	Silt (0.02-0.002mm)	Clay (<0.002mm)	Soil color
1	Kamura	34.41	38.97	10.98	15.64	whitish grey
2	Hongô	41.50	36.50	13.68	8.32	〃
7	Fukamachi B	45.28	29.95	5.45	19.32	〃
4	Kajiyamada	48.76	16.21	19.15	15.88	light, yellowish grey
6	Fukamachi A	33.00	38.59	16.37	12.04	〃
9	Tomoji	29.71	26.66	22.31	21.32	〃
5	Takasu	43.29	28.82	11.84	16.05	yellowish grey
10	Mizuochi	22.47	28.08	22.07	27.38	〃
11	Uenohara	28.20	19.46	26.34	26.00	〃
3	Kanae	8.88	24.87	31.67	34.58	light, brownish grey
8	Shirahama	50.52	11.76	16.34	21.38	〃
12	Seto A	16.92	18.71	32.67	31.70	〃
13	〃 B	18.65	21.69	30.93	28.73	〃
14	Ôkura	0.05	37.32	22.98	39.65	bluish grey
15	Ôkubo	0.10	9.49	62.36	28.05	〃

in light colored soils.

Separated colloid was put in a weighing bottle and the content of combined water was calculated by loss on the ignition reduced moisture content.

1 g soil colloid was weighed in a platinous crucible, mixed with anhydrated Na_2CO_3 and

Table 6. Chemical composition of soil colloid

No.	Locality	H_2O^-	H_2O^+	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	P_2O_5	CaO	MgO	MnO	K_2O	Na_2O
1	Kamura	4.035	0.982	48.623	29.501	12.981	0.702	0.300	0.523	0.432	0.121	0.761	0.513
2	Hongô	5.880	0.928	51.035	26.761	11.087	0.525	0.525	0.761	0.512	0.129	0.899	0.768
7	Fukamachi B	3.640	1.120	50.216	29.168	10.638	0.489	0.701	0.896	0.512	0.123	0.986	0.878
4	Kajiyamada	4.119	1.080	49.168	29.629	11.921	0.599	0.426	0.764	0.461	0.213	0.861	0.981
6	Fukamachi A	3.390	0.837	49.221	29.051	11.956	0.399	0.798	0.671	0.629	0.216	1.001	0.861
9	Tomoji	4.770	1.002	50.201	28.729	11.614	0.200	0.600	0.625	0.301	0.211	0.862	0.961
5	Takasu	6.164	1.001	48.916	28.493	11.798	0.199	0.213	0.817	0.600	0.124	0.862	0.961
10	Mizuochi	4.308	0.986	50.628	27.017	12.963	0.412	0.534	0.861	0.512	0.131	0.996	0.862
11	Uenohara	3.774	0.913	48.973	30.952	11.116	0.500	0.410	0.413	0.391	0.120	1.001	0.816
3	Kanae	3.587	1.226	50.523	25.534	14.320	0.300	0.901	0.964	0.623	0.101	1.103	0.986
8	Shirahama	3.432	0.944	46.287	29.952	13.964	0.790	1.198	0.861	0.514	0.206	0.849	0.716
12	Seto A	5.540	1.063	45.249	29.859	13.817	0.701	0.300	0.986	0.627	0.121	0.819	0.769
13	〃 B	8.396	1.116	44.343	27.792	12.986	0.906	0.402	0.986	0.762	0.291	0.900	0.816
14	Ôkura	5.861	7.882	46.360	24.658	8.309	0.695	0.130	0.900	2.607	1.235	0.795	0.285
15	Ôkubo	3.491	6.090	45.521	27.015	9.588	0.696	0.192	2.000	3.059	1.015	0.826	0.201
	Hiroshima Prefecture												
	Maximum	8.396	1.226	50.628	30.952	14.320	0.906	1.198	0.986	0.762	0.291	1.103	0.986
	Minimum	3.390	0.913	44.343	25.534	10.638	0.199	0.213	0.413	0.301	0.101	0.761	0.513
	Average	4.695	1.015	48.721	28.649	12.397	0.517	0.562	0.779	0.528	0.162	0.913	0.837
	Hyôgo Prefecture												
	Average	4.676	6.986	45.940	25.836	8.948	0.695	0.160	1.450	2.833	1.125	0.810	0.243

Note: H_2O^- shows moisture evaporated at 100°C. H_2O^+ shows moisture evaporated during 100°C to ignition.

fused in electric furnace at 1000°C. After cooling, dissolve in HCl solution, SiO_2 in the solution was separated by the usual method. The filtrate after separation of SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, TiO_2, MnO, CaO, MgO and P_2O_5 were determined by the usual method. K_2O and Na_2O were determined by the Lawrence Smith Method[14], namely fused sample with $CaCO_3$ and NH_4Cl. Chemical reaction occurs as follows:

$$2KAlSi_3O_8+6CaCO_3+2NH_4Cl=6CaSiO_3+6CO_2+Al_2O_3+2NH_3+H_2O+2KCl$$

Extract with H_2O, alkali metals and one part of calcium dissolved in H_2O as chloride, other metals remain such as oxide and silicate as Ca-silicate.

After treating Ca-salts in aqueous solution, K_2O was determined by the platinum-chloride method. Content of Na_2O was calculated by the difference between the sum of KCl+NaCl and KCl.

Chemical composition of soil colloid by the above mentioned methods are shown in Table 6.

As compared with the composition of soil colloids produced from both Hiroshima and Hyôgo Prefectures, there is much more H_2O contained in Hyôgo Prefecture soil colloid. SiO_2 and Al_2O_3 show no appreciable difference in either Prefectural colloids. Contents of Fe_2O_3 and P_2O_5 are less in Hyôgo Prefecture soil colloids than in Hiroshima soil colloids, especially P_2O_5 which decreases markedly. On the contrary contents of CaO and MgO are much higher in Hyôgo soil colloids than in Hiroshima soil colloids. MnO, K_2O and Na_2O show no appreciable difference.

ROBINSON & HOLMES[16)17)] separated the soil particle, smaller than 0.003 mm in diameter, from 45 soils in several places in the U. S. A. and showed the following results.

SiO_2 55.44～31.84%
Al_2O_3 38.28～16.42%
Fe_2O_3 16.67～4.66%

Maximum, minimum and average values of elements in colloids separated from soils in several parts of Japan[18)19)20)] are shown in Table 7.

Table 7. Maximum, minimum and average values of elements

	Maximum	Minimum	Average
SiO_2	54.17%	24.62%	37.65%
Al_2O_3	30.44	13.92	21.97
Fe_2O_3	14.29	5.20	9.00
TiO_2	1.21	0.04	0.50
P_2O_5	1.20	trace	0.32
CaO	5.26	0.39	1.08
MgO	3.38	0.12	1.24
MnO	2.01	0.13	0.68
K_2O	2.96	0.14	0.75
Na_2O	3.93	trace	0.64

As shown above, in both the American and Japanese soils, considerable differences in composition of soil colloids are recognized; but the composition of soil colloids separated from adjacent areas is quite similar.

In determining the result of colloids separated from Alluvium, Diluvium and Residual uncultivated soils developed from different mother rocks, of the 18 provinces in the central and western part of Japan, the content of SiO_2 is the highest in colloid separated from Alluvium, and high in Tertiary, Mesozoic and Palaeozoic soils or in colloids separated from Quartzite Sandstone, Shale and Granite. The least is in Diluvium soil. Content of Al_2O_3 is more in Residual soils than in Alluvium. On Residual soils, there is no difference according to geological origin. Fe_2O_3 is relatively high in colloid of Alluvium. Difference of CaO amount is not recognizable by geological origin; on the contrary the amount of MgO is different according to geological origin and high in Mesozoic soil colloid. K_2O and Na_2O have no defined tendency.

The geological system of soils used for the coating of mat rushes is almost all Palaeozoic in Hiroshima Prefecture and Diluvium in Hyôgo Prefecture. The composition of soil colloid originating from Palaeozoic and Diluvium in Japan is shown in Table 8.

Table 8. Composition of soil colloid originated from Palaeozoic and Diluvium

	Palaeozoic		Diluvium	
	Suspension	Emulsion	Suspension	Emulsion
SiO_2	41.45%	39.04%	38.92%	38.45%
Al_2O_3	35.25	36.70	35.58	34.84
Fe_2O_3	8.00	8.42	8.76	9.06
TiO_2	0.43	0.19	0.68	0.63
CaO	1.33	1.27	1.21	1.16
MgO	1.52	1.34	1.33	1.26
K_2O	1.35	0.42	0.99	0.99
Na_2O	0.67	0.55	0.59	0.56

In comparing the composition of soil colloid used for the coating of mat rushes to soil colloid of Palaeozoic and Diluvium in Japan, there is much more SiO_2 and less Al_2O_3 in soil colloid used for the coating of mat rushes than in Palaeozoic and Diluvium soil colloids. There is more Fe_2O_3 in Hiroshima soil colloid than in Palaeozoic ones, and more CaO in Hyôgo soil colloid than Diluvium.

The nucleus of inorganic soil colloid is clay mineral, and soil genetic process is defined by the kind and proportion of clay minerals[21][23][24][25][26][27][32][33]. Studies on clay minerals were carried out to determine the relationship between clay minerals and the absorption of plant nutrients; hydrogen ion concentration of soil solution or the holding and consumption of soil humus; and plasticity; percolation and permeability which are much influenced by soil physical properties such as swelling and shrinking.

As the soil colloid is the mixture of many kinds of minerals and amorphous materials it is very difficult to determine soil minerals by only using the result of chemical analysis. But it can be clearly recognized that the existence of Mg-Montmorillonite or Mg-Illite by a large quantity of MgO[21], Nontronite or Fe-Illite by Fe_2O_3[21] and Illite by K_2O[21)22)23]. The composition of principal clay minerals by GRIM[23] shown in Table 9.

Table 9. Composition of clay minerals

	Kaolinite	Halloysite	Montmorillonite	Nontronite	Illite
	%	%	%	%	%
SiO_2	44.59~48.80	43.79~44.76	49.91~57.55	40.54~46.06	47.55~52.23
Al_2O_3	35.18~37.82	36.10~38.46	15.96~20.14	3.6~12.22	21.67~32.45
Fe_2O_3	0.72~1.24	0.11~0.36	0.06~6.35	18.54~31.24	0.76~6.20
FeO	~0.11	~0.07	0.26~0.95	~0.39	0.57~1.80
CaO	0.13~1.02	0.48~0.51	0.50~3.28	~1.97	0~0.67
MgO	0.27~0.37	trace~0.18	2.49~6.53	~1.62	1.70~4.48
K_2O	0.40~1.47	0.48~0.51	0.11~0.60	~0.24	6.08~7.47
Na_2O	0.05~0.44	0.01~0.14	0.04~2.75	~0.14	0.13~1.05
H_2O^-	0.61~1.55	2.53~5.92	14.75~15.77	12.10~14.75	~3.22
H_2O^+	12.18~13.63	13.38~14.59	7.46~8.53	6.00~9.25	6.03~7.88

As shown in Table 9 Montmorillonite has the physical characteristics of containing large quantity of MgO, Nontronite in Fe_2O_3 and Illite in K_2O.

Comparing the chemical composition of soil colloid used for the coating of mat rushes with those of clay minerals, the soil colloid used for the coating of mat rushes does not contain as much MgO as Montmorillonite, and even Al_2O_3 as Nontronite, and more K_2O as Illite. All clay minerals contain a little quantity of Fe_2O_3 except Nontronite, and soil colloids used for the coating of mat rushes contain Fe_3O_3 to some extent. Therefore with these results it can be determined to which kind of clay minerals these soil colloids used for the coating of mat rushes belong. But owing to Japanese climatic conditions it may be presumed that the soil colloids used for the coating of mat rushes are mixtures of Kaolinite and Halloysite.

5) Molecular ratio of soil colloid

The result of the total analysis of soil colloids is shown in Table 6, SiO_2/Al_2O_3 and SiO_2/R_2O_3 are calculated as shown in Table 10.

SiO_2/Al_2O_3 and SiO_2/R_2O_3 of soil colloids separated from the soils of 18 provinces in central and western Japan are shown in Table 12.

The molecular ratio of soil colloid separated from Alluvium is the greatest, the value of Tertiary, Mesozoic and Palaeozoic the next and that of Diluvium, Metamorphic rock and Igneous rock soils the least. As mentioned before the ratios of Palaeozoic soil and Di-

Table 10. SiO_2/Al_2O_3 and SiO_2/R_2O_3

No.	Locality	SiO_2/Al_2O_3	SiO_2/R_2O_3
1	Kamura	2.79	2.18
2	Hongô	3.23	2.55
7	Fukamachi B	2.92	2.36
4	Kajiyamada	2.81	2.24
6	Fukamachi A	2.87	2.27
9	Tomoji	2.96	2.35
5	Takasu	2.91	2.30
10	Mizuochi	3.18	2.43
11	Uenohara	2.68	2.18
3	Kanae	3.35	2.47
8	Shirahama	2.62	2.02
12	Seto A	2.57	1.98
13	〃 B	2.70	2.08
15	Ôkura	3.19	2.63
15	Ôkubo	2.86	2.33

Table 11. Maximum, minimum and average of SiO_2/Al_2O_3 and SiO_2/R_2O_3

	Hiroshima Prefecture			Hyôgo Prefecture
	Maximum	Minimum	Average	Average
SiO_2/Al_2O_3	3.35	2.57	2.89	3.03
SiO_2/R_2O_3	2.55	1.98	2.26	2.48

Table 12. SiO_2/Al_2O_3 and SiO_2/R_2O_3 of various soils in Japan

	Alluvium	Tertiary Mesozoic Palaeozoic	Diluvium Metamorphic rock soil Igneous rock soil
SiO_2/Al_2O_3	3.4	1.9~2.1	1.6~1.8
SiO_2/R_2O_3	2.2	1.5~1.7	1.4~1.5

Table 13. SiO_2/Al_2O_3 and SiO_2/R_2O_3 of Palaeozoic and Diluvium soils

	Palaeozoic		Diluvium	
	Suspension	Emulsion	Suspension	Emulsion
SiO_2/Al_2O_3	1.99	1.84	1.60	1.61
SiO_2/R_2O_3	1.74	1.57	1.85	1.87

luvium soil are calculated as shown in Table 13.

Both SiO_2/Al_2O_3 and SiO_2/R_2O_3 of soil colloids used for the coating of mat rushes average 2 to 3. And in comparing the ratios of Palaeozoic and Diluvium soil colloids, the ratios of soil colloids used for the coating of mat rushes show higher value than that of Palaeozoic and Diluvium.

Ratios of clay minerals showed by GRIM are calculated as shown in Table 14.

Table 14. SiO_2/Al_2O_3 and SiO_2/R_2O_3 of clay minerals

	Kaolinite	Halloysite	Montmorillonite	Nontronite	Illite
SiO_2/Al_2O_3	2.18~2.15	2.15~1.97	5.30~4.84	19.11~6.39	3.72~2.70
SiO_2/R_2O_3	2.14~2.0	2.05~1.96	5.29~4.03	4.45~2.43	3.64~2.43

As shown above both SiO_2/Al_2O_3 and SiO_2/R_2O_3 of Kaolinite and Halloysite are 2 and another clay minerals show a much higher value. The fundamental composition of Kaolinite and Holloysite is $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ and silica-alumina molecular ratio is 2. In fact SiO_2/Al_2O_3 of Kaolinite has some fluctuation of about 1.6~2.8. It is said that in the case of a ratio lower than 2, aluminium substitutes for silicon in the silicic acid layer and in the case of ratio over 2, an aluminium layer is not contained in a crystal and only 2 silicic acid layers are combined in a crystal. Both ratios of soil colloid coating the stems of mat rushes in Hiroshima and Hyôgo Prefectures are between an average of 2 or 3 and these values are similar to the ratios of Kaolinite and Halloysite.

6) Base exchange capacity of soil colloid

Soil colloid absorbs many kinds of bases such as Ca, Mg, K and Na in its surface area. When these bases decrease in quantity, the hydrogen ion is absorbed in the colloid instead of in the bases. Soil colloid which is saturated by only bases is called the saturated colloid, and a part of these bases is exchanged by hydrogen ion is called the unsaturated colloid. And the total sum of bases which is saturated by only bases, namely the maximum amount of bases which can be absorbed on soil colloid is the base exchange capacity.

Usually base exchange capacity is indicated by milligram equivalent (m eq) per 100 g soil. The result of determination of base exchange capacity by 1 N ammonium acetate solution[14)15)] is shown in Table 15.

The base exchange capacity of many kinds of clay minerals which have been known[23)34)] is shown in Table 16.

Base exchange capacity is usually 10 m eq or so per 100 g in the case of inorganic soil colloid composed chiefly of Kaolinite. On the contrary in the case of Montmorillonite, the base exchange capacity is 100 m eq per 100 g and in the case of Mica clay its capacity is intermediary.

Base exchange capacity of soil colloid used for the coating of mat rushes is recognized as showing the value of the base exchange capacity of Kaolinite and Halloysite.

Table 15. Base exchange capacity (m eq/100 g soil)

No.	Locality	Base exchange capacity (m eq)
1	Kamura	7.99
2	Hongô	7.46
7	Fukamachi B	13.78
4	Kajiyamada	10.52
6	Fukamachi A	8.31
9	Tomoji	13.04
5	Takasu	13.46
10	Mizuochi	19.98
11	Uenohara	16.51
3	Kanae	21.61
8	Shirahama	15.04
12	Seto A	13.25
13	〃 B	13.04
14	Ôkura	18.00
15	Ôkubo	13.30
Hiroshima Prefecture		
	Maximum	21.61
	Minimum	7.46
	Average	13.38
Hyôgo Prefecture		
	Average	15.65

Table 16. Base exchange capacity of minerals

Clay mineral	m eq/100g soil
Kaolinite	3~15
Halloysite	5~10
Montmorillonite	60~120
Illite	10~40
Allophan	20~40

7) Properties of Fe of soil

When the stems of mat rushes are put in the mud water and dried, the content of humus and iron in soil colloid have much influence upon the color of the stems of mat rushes and also upon the manufactured mat. Because humus and iron in soil colloid are the coloring material in soil, after drying of the stem these elements color the stem by their oxidation. Naturally, though humus should be colorless, humus gives grey, brown and greyish black color on soil, because it contains a greyish black pigment. Besides red, the brown or yellow colors of soil originate from the content of free iron. In the case of the drying of mat rushes, iron is more easily oxidized and has more influence upon the color of the stem than humus by oxidation. So the properties of iron in soil colloid

were examined; then the total sums of ferric oxide and ferrous oxide were determined[28].

a) Total sums of ferric oxide and ferrous oxide were determined by Redox titration method using H_2S.

b) Dissolve ferrous oxide by 1 N H_2SO_4, and produce color by 0.1% α–α' dipyridyl, and transmission % is determined by photometer and by calculating the amount of ferrous oxide.

c) Amount of ferric oxide is calculated by the deduction of ferrous oxide quantity from total sums of ferric and ferrous oxides.

Table 17. Amount of ferric and ferrous oxides in soil

Plot	Locality	100g soil(g)		Ratio (%)		Soil color
		Fe^{++}	Fe^{+++}	Fe^{++}	Fe^{+++}	
I	Kamura	0.133	1.024	11.50	88.50	whitish grey
	Hongô	0.099	1.059	8.55	91.45	〃
	Fukamachi B	0.090	0.708	11.28	88.72	〃
	Average	0.107	0.930	10.44	89.56	
II	Kajiyamada	0.441	1.515	22.55	77.45	light, yellowish grey
	Fukamachi A	0.121	0.991	10.89	89.11	〃
	Tomoji	0.130	1.507	7.95	92.05	〃
	Average	0.231	1.338	13.80	86.20	
III	Takasu	0.216	1.980	9.84	90.16	yellowish grey
	Mizuochi	1.011	5.696	15.08	84.92	〃
	Uenohara	1.062	4.846	17.98	82.02	〃
	Average	0.763	4.174	14.30	85.83	
IV	Kanae	0.216	6.730	3.11	96.89	light, brownish grey
	Shirahama	0.345	5.004	6.45	93.55	〃
	Seto A	0.400	3.153	10.98	89.02	〃
	〃 B	0.390	3.043	11.37	88.63	〃
	Average	0.338	4.485	7.98	92.02	
V	Ôkura	5.494	0.259	95.54	4.46	bluish grey
	Ôkubo	4.370	0.743	85.46	14.56	〃
	Average	4.932	0.502	90.50	9.50	

Plots I through IV are in Hiroshima Prefecture production and plot V is Hyôgo Prefecture production.

In Hiroshima Prefecture soils the amount of ferrous oxide is greater than that of ferric oxide and the ratio is Fe^{++} 10 to Fe^{+++} 90 in plot I, 14 to 86 in plots II and III, and 8 to 92 in plot IV.

In comparing soil colors whitish grey and yellowish grey soils show the ratio of 10～14 to 86～90, brown soil decreases the amount of Fe^{++} and increases Fe^{+++}. On the contrary Hyôgo Prefecture soils contain much more Fe^{++} than Fe^{+++} and the ratio of Fe^{++} and Fe^{+++} is 90 to 10 and its color is bluish grey. It is characteristic of Hiroshima Prefecture soil colloids that they contain much more Fe^{+++} than Fe^{++} and that Hyôgo Pre-

fecture soil colloids contain much more Fe^{++} than Fe^{+++}.

Also, for the determination of ferrous oxide, there is another method using $AlCl_3$ instead of 1 N H_2SO_4 solution.

Weight 0.2～0.5 g dried soil in a flask, add 0.2% $AlCl_3$ solusion 50 cc, and after shaking for an hour, set aside and add 0.2% $\alpha\sim\alpha'$ dipyridil to supernatant liquid 5 cc and produce color. Transmission % is determined by photometer and by calculating the amount of ferrous oxide.

By using this method the quantity of soluble Fe^{++} and Fe^{+++} is much less than by using 0.1 N H_2SO_4 solution, but the ratio of Fe^{++} and Fe^{+++} in both Prefecture soils has almost the same tendency as by using the first method.

8) Color reaction of soil colloid

As aromatic diamine characteristically reacts upon clay minerals, it is used to detect qualitatively the clay mineral in soil colloid by the oxidation of a slight amount of diamine incidental to the semiquinone type.

HENDRICKS & ALEXANDER[30)] used benzidine or benzidinehydrochloride to detect Montmorillonite in soil colloid. In this case benzidine or benzidinehydrochloride has nothing to react with Kaolinite or any other inorganic materials in soil. Subsequently HARADA[31)] reported that this benzidine color reaction was applicable to Kaolinite. That result reported by him is shown in Table 18.

Table 18. Color reaction of clay minerals

Clay mineral	Reagent	Color reaction
Montmorillonite	Paraphenylendiamine or Phenylendiamine	violet color;crimson in slightly acid
	Methol	dark deep blue
	Benzidinehydrochloride	deep blue
Halloysite and Kaolinite	Manganese dioxide Benzidine	violet color

Soil colloid has the nature of absorbing many kinds of pigments. Moreover these pigments occasionally change their color tone when absorbed by colloid. Put soil colloid on a slide glass, add one drop of saturated nitrobenzen of safranine T, cover with a cover glass and look at it through a microscope.

Sericite, Montmorillonite, Halloysite and Kaolinite are almost dyed, but are different in color tone[34)].

Kaolinite is dyed to red and other clay minerals are dyed to slightly brownish red. Coloration of clay minerals by the saturated benzidine and safranine T is as Table 19.

As shown in Table 19 the result is the qualitative one of coloration of soil colloid used for the coating of mat rushes, it is sufficiently understood that these soil colloids are mixed with many kinds of clay minerals. According to the violet coloration by benzidine and the crimson red dying by safranine T, soil colloid used for the coating of mat rushes may be considered to be mixed with Kaolinite group.

Table 19. Coloration and dying of soil colloid

No.	Locality	Coloration by benzidine	Dying by safranine	Black particle by safranine T	Grade of crystal
1	Kamura	1) +++	crimson red	2) +	large
2	Hongô	++	red	+	medium
7	Fukamachi B	− ?	crimson red	+	〃
4	Kajiyamada	+	red	+	〃
6	Fukamachi A	− ?	crimson red	+	〃
9	Tomoji	−	red	++	small
5	Takasu	+	〃	++	〃
10	Mizuochi	−	slightly yellowish red	+	〃
11	Uenohara	−	yellowish red	+	〃
3	Kanae	−	red	+++	〃
8	Shirahama	−	〃	+++	〃
12	Seto A	− ?	〃	+	〃
13	〃 B	− ?	〃	+	medium
14	Ôkura	−	〃	−	−
15	Ôkubo	−	〃	−	−

Note: 1) + Grade of coloration. − No coloration. 2) + shows quantity.

9) Specific gravity of soil colloid

For the separation of soil colloid from soil which coats the stems of mat rushes, the International Pipette Method was chosen as mentioned previously. The principle of this method is that the sedimentation velocity of globular particles of the same specific gravity is proportional to the size of particles. So, specific gravity of soil colloid was determined by picnometer.

Table 20. Specific gravity of soil colloid

No.	Locality	Specific gravity
1	Kamura	2.370
2	Hongô	2.286
7	Fukamachi B	2.279
4	Kajiyamada	2.487
6	Fukamachi A	2.280
9	Tomoji	2.268
5	Takasu	2.295
10	Mizuochi	2.475
11	Uenohara	2.438
3	Kanae	2.431
8	Shirahama	2.248
12	Seto A	2.388
13	〃 B	2.295
14	Ôkura	2.710
15	Ôkubo	2.730

Specific gravity of clay minerals which has been known up to date is as follows:

Table 21. Specific gravity of clay minerals

Kaolinite	2.58~2.60
Halloysite	2.0~2.2
Montmorillonite	2.25±0.05
Nontronite	2.50
Allophane	1.80~1.86
Pirohirite	2.8~2.9
Biederite	2.70±0.3

As shown above there is not much difference in specific gravity of soil colloid. In these clay minerals Pirohirite is the heaviest. Kaolinite and Nontronite show the same value and are next to Pirohirite. Biederite, Montmorillonite and Halloysite are somewhat light and Allophane is the lightest. By SUDO[21)] the specific gravity of hydrated Halloysite and another clay minerals in Japan as determined by GOINIRK's Method is 2.16~2.34.

In comparing the result shown above with results which have been known up to date, it reveals that the specific gravity of soil colloid used for the coating of mat rushes is similar to that of Kaolinite.

9) Dehydration curve of soil colloid

Determination of a dehydrated condition can be seen to a certain degree in the properties of soil colloid. We can determine the kind of minerals by representation of the relationship between loss of weight and temperature by heating and making a curve and then comparison of the curve with that of well-known minerals. There are three methods for the determination of dehydration curve.

a) *Intermittent heating:* Heat a sample to a certain temperature and maintain at a constant weight. Again heat at still higher temperature and maintain a constant weight. Carry out such a method gradually. After the sample has cooled, it is weighed.

b) *Continuous heating:* it is a method to determine the variation of weight of a sample by heating at a constant rate. Generally the temperature rise is from 20°C to 1000°C taking 2 to 200 hours. Sample is weighed in heating.

c) *Single heating:* Prepare numerous samples equivalent to the various kinds of temperature for determination, heat each of the samples to the various temperatures at the same time and determine the variation of weight by heating.

In these three methods, the authors selected the first method and determined the dehydration curve. Weigh exactly 1 g soil colloid in a crucible and heat it in a muffle furnace at various temperatures for 30 minutes. After heating, transfer the crucible to a desiccator for cooling and determine the decrease in weight. Moreover, in heating it is believed that there is a decrease in weight of the sample by the decomposition of carbonate, organic matter and other volatile materials, and the oxidation of ferrous oxide or manganese oxide. But in this method, moisture in organic matter, ferric hydroxide and hydrated aluminium are supposed to be lost at less than 400°C; and OH in

the grating of crystal of clay mineral at from 400°C to 600°C, especially moisture in Mica group at higher temperature.

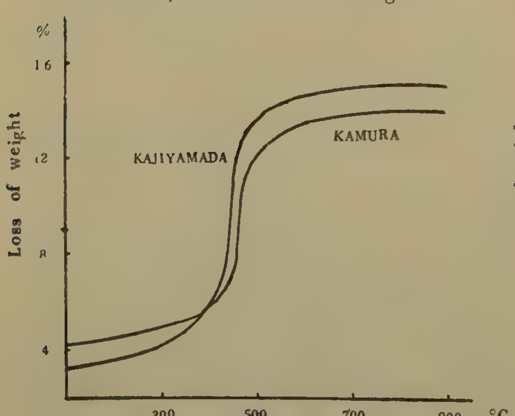
Accordingly in case a great quantity of water is lost at less than 400°C, the existence of Montmorillonite is considered likely, and in the case of loss at 400∼600°C Kaolinite and Halloysite groups are likely to exist.

The results are shown in Table 22 and illustrated in Text-figs. 2–5.

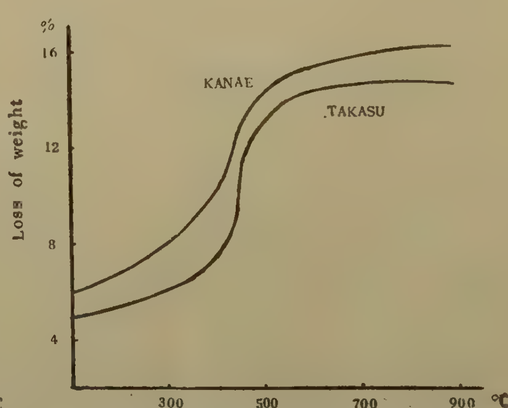
Table 22. Total loss of moisture at various temperatures (%)

No.	Locality	100°C	200°C	300°C	400°C	500°C	600°C	700°C	800°C	900°C
1	Kamura	4.11	4.53	4.82	5.27	12.81	13.62	13.66	14.02	14.09
2	Hongô	6.32	7.56	7.75	9.74	13.94	14.57	14.82	14.72	14.80
7	Fukamachi B	3.78	4.07	4.41	5.36	10.23	11.64	11.85	12.19	12.28
4	Kajiyamada	3.15	3.65	4.90	5.65	14.59	14.74	15.09	15.28	15.38
6	Fukamachi A	4.07	5.05	5.22	6.05	10.67	11.95	12.17	12.32	12.40
9	Tomoji	4.43	5.33	5.49	7.52	11.32	11.88	12.11	12.29	12.39
5	Takasu	4.80	5.30	6.72	7.25	13.74	14.55	14.65	1) 14.52	1) 14.45
10	Mizuochi	3.42	4.31	5.08	5.75	10.70	11.98	12.49	12.90	13.00
11	Uenohara	2.49	3.49	4.23	5.34	11.21	11.93	12.19	12.55	12.58
3	Kanae	5.71	6.53	8.06	9.66	14.65	15.46	15.73	16.02	16.16
8	Shirahama	3.25	4.19	5.28	6.39	10.89	11,57	12.53	12.89	12.93
12	Seto A	7.32	9.19	11.04	12.45	18.58	19.10	20.25	20.25	20.45
13	// B	4.74	6.17	6.46	9.38	15.77	16.34	16.98	17.39	17.44
14	Ôkura	4.96	6.23	9.68	10.62	11.40	14.77	14.86	15.34	15.57
15	Ôkubo	4.44	5.91	7.00	7.49	9.29	12.95	13.44	13.74	13.89

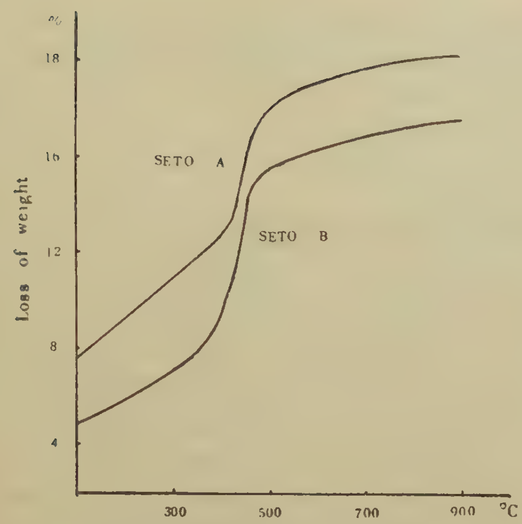
Note: 1) shows increase of weight.



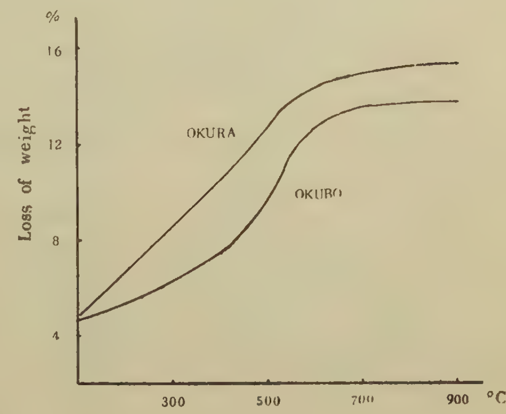
Text-fig 2. Dehydration curve of soil colloid of the soils from Kajiyamada and Kamura.



Text-fig. 3. Dehydration curve of soil colloid of the soils from Kanae and Takasu.



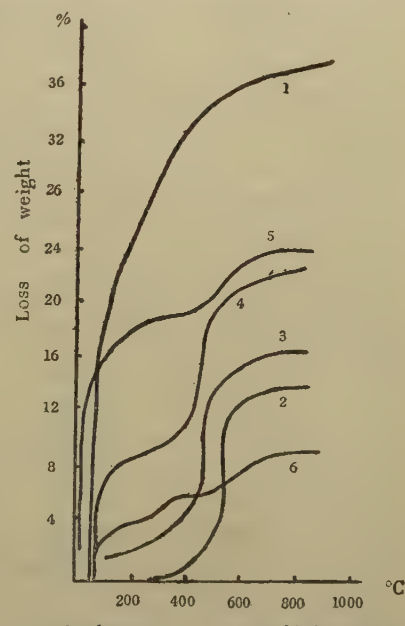
Text-fig. 4. Dehydration curve of soil colloid of the soils from Seto.



Text-fig. 5. Dehydration curve of soil colloid of the soils from Ôkura and Ôkubo.

Typical dehydration curves of Kaolinite, Halloysite and Montmorillonite[15)32)] are shown in Text-fig. 6.

As shown in the above table and diagrams, in soil colloid which coats the stems of mat rushes, the existence of many kinds of clay minerals such as Kaolinite and Halloysite group is considered.



Text-fig. 6. Typical dehydration curves.

10) Absorptive power of soil colloid

On the contrary, loss of moisture by increasing temperature, determination of absorptive power of soil colloid is very important in coating the stem of mat rushes and its influence on the quality of the manufactured mat. So, absorptive power of soil colloid was determined.

Place 2 g soil sieved by a 0.5 mm sieve in a weighing bottle and dry in an oven at 105°C. After drying to a constant weight, the opened weighing bottle was put in a desiccator of 82.5 % relative humidity at 25°C, and after a fixed hour weighing the closed bottle and calculating the absorptive power by the increase of weight.

To keep constant humidity in the desiccator, sulfuric acid of appointed concentration

was added in the bottom of the desiccator and put in an incubator at 25°C.

These values in 1955 and 1956 by Japanese Statistical Year-Book are as follows:

Hiroshima Prefecture	1955	1956
Average Temperature	26.1°C	25.9°C
Average Relative Humidity	80.0%	83.0%

By the method as above mentioned, the result is shown in Table 23.

Table 23. Total moisture absorption at various hours (mg)

No.	Locality	After 1 hour	2 hours	3 hours	4 hours	5 hours	6 hours	7 hours	9 hours	12 hours	24 hours
1	Kamura	11.8	15.4	17.4	19.7	21.7	22.7	24.2	25.2	25.7	26.9
2	Hongô	13.9	18.9	25.5	28.5	31.0	32.3	33.5	36.1	38.5	39.5
7	Fukamachi B	14.2	24.2	30.6	34.0	37.7	41.1	44.2	47.2	49.2	50.7
4	Kajiyamada	11.5	14.6	17.2	19.5	21.0	21.6	22.2	23.2	25.0	25.2
6	Fukamachi A	13.9	19.9	25.9	29.9	33.4	35.7	37.5	40.1	42.3	42.8
9	Tomoji	14.3	19.0	24.0	26.9	28.0	28.5	29.1	30.1	30.9	31.1
5	Takasu	15.3	21.8	30.4	35.4	40.0	42.5	45.0	48.5	51.5	53.0
10	Mizuochi	15.4	24.3	34.1	39.4	42.6	44.0	45.6	47.0	49.0	49.4
11	Uenohara	14.8	24.5	32.3	36.2	38.9	42.0	44.0	45.3	47.9	48.5
3	Kanae	14.0	25.5	35.5	41.8	47.0	51.5	54.0	57.2	60.9	62.4
8	Shirahama	16.0	26.3	33.8	39.6	42.4	45.3	46.8	48.8	51.8	52.8
12	Seto A	13.7	19.0	23.6	26.6	29.1	31.4	32.8	33.3	34.8	35.9
13	〃 B	13.8	19.8	24.7	28.7	31.6	33.1	39.9	37.4	38.5	39.0
14	Ôkura	14.0	22.6	32.9	38.4	41.6	43.6	44.9	49.1	51.3	52.5
15	Ôkubo	15.3	22.6	30.1	33.1	35.4	37.9	39.1	40.9	43.6	44.6

The proportion of moisture absorption and quantity of evaporation of soil moisture by drying at 100°C in an oven to a constant weight is indicated as an index of evaporation quantity at 100°C.

11) Variation of temperature by exposing to the direct rays of the sun

Coating the stems of mat rushes by mud water is very useful for early drying of the stems. So, the rising of temperature of soil by exposing to the direct rays of the sun has an influence on the progress of drying of the stem. Therefore variation of temperature of soil by exposing to the direct rays of the sun was determined.

Place 100 g fine soil in 100 cc volume beaker, add 30 cc water and stir to mud condition; expose it to the direct rays of the sun and determine the temperature at 2 cm below on the surface every hour from 9 a.m. to 6 p.m. Representative samples were selected from the section of various colors.

Variation of temperature of the soil which coats the stems of the mat rushes by exposing to the direct rays of the sun shows some differences owing to the kinds of soils.

Table 24. Evaporation and absorption quantity

No.	Locality	Evaporation quantity (mg)	Absorption quantity (mg)	Index (%)	
				Evaporation	Absorption
1	Kamura	32.7	29.6	100	82.3
2	Hongô	49.5	39.5	100	79.8
7	Fukamachi B	64.9	50.7	100	78.1
4	Kajiyamada	29.0	25.2	100	86.9
6	Fukamachi A	53.0	42.8	100	80.8
9	Tomoji	39.6	31.1	100	78.5
5	Takasu	67.0	53.0	100	79.1
10	Mizuochi	63.2	49.4	100	78.2
11	Uenohara	62.8	48.5	100	77.2
3	Kanae	80.2	62.4	100	77.8
8	Shirahama	67.0	52.8	100	78.8
12	Seto A	57.8	35.9	100	62.1
13	〃 B	59.5	39.0	100	65.5
14	Ôkura	75.1	52.5	100	69.9
15	Ôkubo	58.6	44.6	100	76.1

Table 25. Variation of temperature (°C)

Locality	Kamura	Kajiya-mada	Takasu	Kanae	Ôkura	H_2O	Earth's surface
Soil color	whitish grey	light, yellowish grey	yellowish grey	light, brownish grey	bluish grey		
9 a.m.	28.0	27.0	27.5	28.5	28.0	27.5	28.0
10	34.0	34.8	34.1	34.7	35.0	35.8	43.0
11	37.0	38.8	37.0	37.5	39.5	39.0	48.5
12	39.0	40.0	39.1	40.5	40.2	40.8	45.5
1 p.m.	39.5	41.5	40.5	40.9	41.5	41.0	45.0
2	39.5	40.2	40.2	40.0	41.5	39.5	40.0
3	38.2	39.0	39.6	39.5	39.0	37.5	39.8
5	32.0	32.1	32.0	32.7	33.0	32.0	31.0
6	28.5	29.5	28.0	28.7	28.1	28.1	26.5

(III) SUMMARY

The authors investigated the geological systems and productive condition of producing districts of soils used for the coating of mat rushes in Hiroshima Prefecture and Hyôgo Prefecture, collected samples of soils and examined the physical and chemical properties of these soils.

For chemical properties, hot hydrochloric acid analysis and total analysis of soil colloid were carried out and the calculated silica-alumina ratio, base exchange capacity and proportion of Fe^{++} and Fe^{+++}, color reaction and dying of soil colloid were deter-

mined.

For physical properties, the soil colloid was separated by the sedimentation method and the quantity of colloid was determined. Specific gravity, dehydration curve, absorption power and variation of temperature of soil by exposing to the rays of the sun were determined.

1) The producing district in Hiroshima Prefecture is a region which centers in Mihara, Onomichi and Matsunaga, and is limited to the southeast region of Hiroshima Prefecture.

2) Geological system at Kamura, Hongô, Kanae, Takasu, Fukamachi, Shirahama, Tomoji, Mizuochi and Uenohara belongs to Palaeozoic, at Kajiyamada to Granite, and at Seto to Granite Porphyry.

3) Producing districts in Hyôgo Prefecture are Ôkura and Ôkubo in Akashi, and their geological system belongs to Diluvium and form hillock.

4) Soil color is divided into five kinds such as whitish grey, light yellowish grey, yellowish grey, light brownish grey and bluish grey. pH value shows 4.55 in the lowest and 6.70 in the highest.

5) Clay with particle diameter less than 0.002 mm is considered to be soil colloid. This was separated by the Pipette Method. Quantity of colloid is 39.65% in the highest, 8.32% in the lowest and 23.07% in average.

6) Relationship between soil color and pH value can not be recognized as a definite relation, but quantity of colloid has a tendency of being less in light-colored soil, and on the contrary, much more in dark-colored ones.

7) On the average, values of total nitrogen, Fe_2O_3, CaO and MgO in soils of Hyôgo Prefecture are very much more, and K_2O and Na_2O are a little more than in those in Hiroshima Prefecture.

8) On total analysis the amount of H_2O, CaO and MgO is very much more but Fe_2O_3 and P_2O_5 are less in soil colloid of Hyôgo Prefecture than in those of Hiroshima Prefecture.

9) SiO_2/Al_2O_3 and SiO_2/R_2O_3 of colloid by total analysis are higher in Hyôgo Prefecture, but the difference between them is not great.

10) Base exchange capacity of soil colloid in Hiroshima Prefecture is 21.6 m eq in the highest, 7.46 m eq in the lowest and 13.38 m eq in average. In Hyôgo Prefecture it is 18.0 m eq and 13.3 m eq. Little differences between them are recognizable.

11) Quantity of Fe^{++} and Fe^{+++} is closely associated with soil color. Proportion of Fe^{++} and Fe^{+++} in whitish grey and yellowish grey soil is 10～14 to 86～90, and in brown soil Fe^{++} is decreased but Fe^{+++} is increased. In soils of Hyôgo Prefecture the quantity of Fe^{++} is very much more than Fe^{+++}, and the proportion is 90 to 10. Fe^{+++} is found more in Hiroshima Prefecturc soils and Fe^{++} more in Hyôgo Prefecture soils.

12) Results of color reaction by benzidine and dying by safranine T can be recognized that clay mineral of Kaolinite group is adulterated.

13) Specific gravity by picnometer is 2.730 in the highest, 2.248 in the lowest and 2.595 in average.

14) Dehydration curve examined at from 100°C to 900°C is similar to that of clay minerals such as Kaolinite and Halloysite.

15) Absorptive power of colloid seems to depend more upon soil property than upon the quantity.

16) Variation of temperature of soil used for the coating of mat rushes by exposing to the direct rays of the sun shows some different result owing to the kinds of soils.

Though discovering a substitute for soils used for the coating of mat rushes was the task of this study, in coating the stems, when the stems were treated with other materials such as bentonite or Japanese acid clay and dried and moreover when a finished mat was produced, commercial value as a mat was much reduced unless the usual soil was used.

Therefore under the present phase it does not solve the problem of a substitute. The quantity of production of the soil used for the coating of mat rushes in Hiroshima Prefecture seems to be less than in Hyôgo Prefecture and the future reserves are also less.

Hence we can use the soil produced at Akashi, Hyôgo Prefecture as a substitute, but as mentioned before, the quality and property of Fe of Hyôgo Prefecture soils are diferent from that of Hiroshima Prefecture. Since the color of the mat may be somewhat bluish, the commercial value is as yet uncertain.

(IV) REFERENCES

1) Experiment Record on Mat Rushes. East Branch of Hiroshima Prefectural Experiment Station, 1952–1953.

2) Experiment Record on Mat Rushes. East Branch of Hiroshima Prefectural Agricultural Experiment Station, 1957.

3) Annual Report, Hiroshima Prefectural Agricultural Experiment Station, 1952–1953.

4) Annual Report, Chikugo Branch of Fukuoka Prefectural Agricultural Experiment Station, 1957.

5) Experimental Report on Mat Rushes, Chikugo Branch of Fukuoka Prefectural Agricultural Experiment Station, 1958.

6) KUBOTA, S. & NAGAE,D. 1953. Okayama Prefectural Agricultural Experiment Station Special Bull. No. 48, 37–47.

7) KUBOTA, S. & NAGAE, D. 1953. Okayama Prefectural Agricultural Experiment Station Special Bull. No. 50, 187–202.

9) NAKANO, Y. KIMURA, T. & HAMADA, S. 1956. Hiroshima Prefectural Agricultural Experiment Station Bull. No. 8, 27–28.

10) NAKANO, Y. KIMURA, T. & HAMADA, S. 1956. Hiroshima Prefectural Agricultural Experiment Station Bull. No. 8, 29–31.

11) NAKANO, Y. & SADAHIRO, S. 1956 Hiroshima Prefectural Agricultural Experiment Station Bull. No. 8, 32–34.

12) Experiments of Urea to Mat Rushes, 1957. East Branch of Hiroshima Prefectural Agricultural Experiment Station 1–21.

13) HASHIMOTO, T. 1958. Bull. of Hiroshima Agricultural College, Vol. **1**, No. 1, 27–32.

14) Experimental Agricultural Chemistry, 1952. Vol. 1, 55–65.

15) FUNABIKI, S. & AOMINE, S. 1957. Soil Analytical Method.

16) ROBINSON, W. O. & HOLMES, R. S. 1924. U. S. Dept. of Agriculture, Bull. No. 1311.

17) HOLMES, R. S. & EDINGTON, G. 1930. U. S. Dept. of Agriculture, Tech. Bull. No. 229.

18) KAWAMURA, K. 1934. Soil Colloid Chemistry, 22.

19) KAWAMURA, K. & FUNABIKI, S. 1936. Jour. of Sci. of Soil and Manure, Japan, **10**, 201.

20) OSUGI, S. & MORITA, S. 1936. Jour. of Agricultural Chemical Society of Japan, **12**, 836.

21) SUDO, T. 1953. Clay Mineral.

22) KAMOSHITA, Y. YAMADA, Y. & KOBAYASHI, K. 1952. Jour. Sci. Soil and Manure, Japan, **22**,

199-200.
23) GRIM, R. E. 1942. Jour. Geol. 50, 225: 1950, Trans. Intern. Cong. Soil Sci., Amsterdam, III, 44.
24) MASUI,J. 1955. Jour. Sci. Soil & Manure, Japan, Vol. **26**, No. 1, 15-29.
25) UCHIYAMA, N. & ONIKURA, Y. 1957. Jour. Sci. Soil & Manure, Japan, Vol. **28**, No. 2, 74-76.
26) KASHIWAGI, H. YOKOI, H. & YOSHIKAWA, T. 1953, Jour. Sci. Soil & Manure, Japan, Vol. **24**, No. 3, 157-158.
27) AOMINE, S. & HIGASHI, T. 1954. Sci. Bull. of the Faculy of Agriculture, Kyushu University, Vol. **14**, No. 4, 553-570.
28) TAKAI, Y. 1956. Jour. Sci. Soil & Manure, Japan, Vol. **26**, No. 11, 467-470.
29) YAMANAKA, K. NAKAMURA, H. MATSUNO, K. & MOTOMURA, S. 1957. Jour. Sci. Soil & Manure, Japan, Vol. **28**, No. 8. 308-310.
30) HENDRICK, S. B. & ALEXANDER, L. T. 1940. Jour. Am. Soc. Agron. **32**, 455.
31) HARADA, M. 1942. Jour. Agric. Chem. Soc., Japan, **18**, 707.
32) UCHIYAMA, N. & ONIKURA, Y. 1954. Jour. Sci. Soil & Manure, Japan, Vol. **24**, No. 6, 307-312.
33) MASUI, J. 1954. Jour. Sci. Soil & Manure, Japan, Vol. **24**, No. 6, 313-317.
34) MASUI, J. 1957. Jour. Sci. Soil & Manure, Japan, Vol. **28**, No. 8, 316-318.

EXPLANATION OF PLATES

Plate 1. Electron photomicrographs of soil colloid (Magnitude × 10,000)

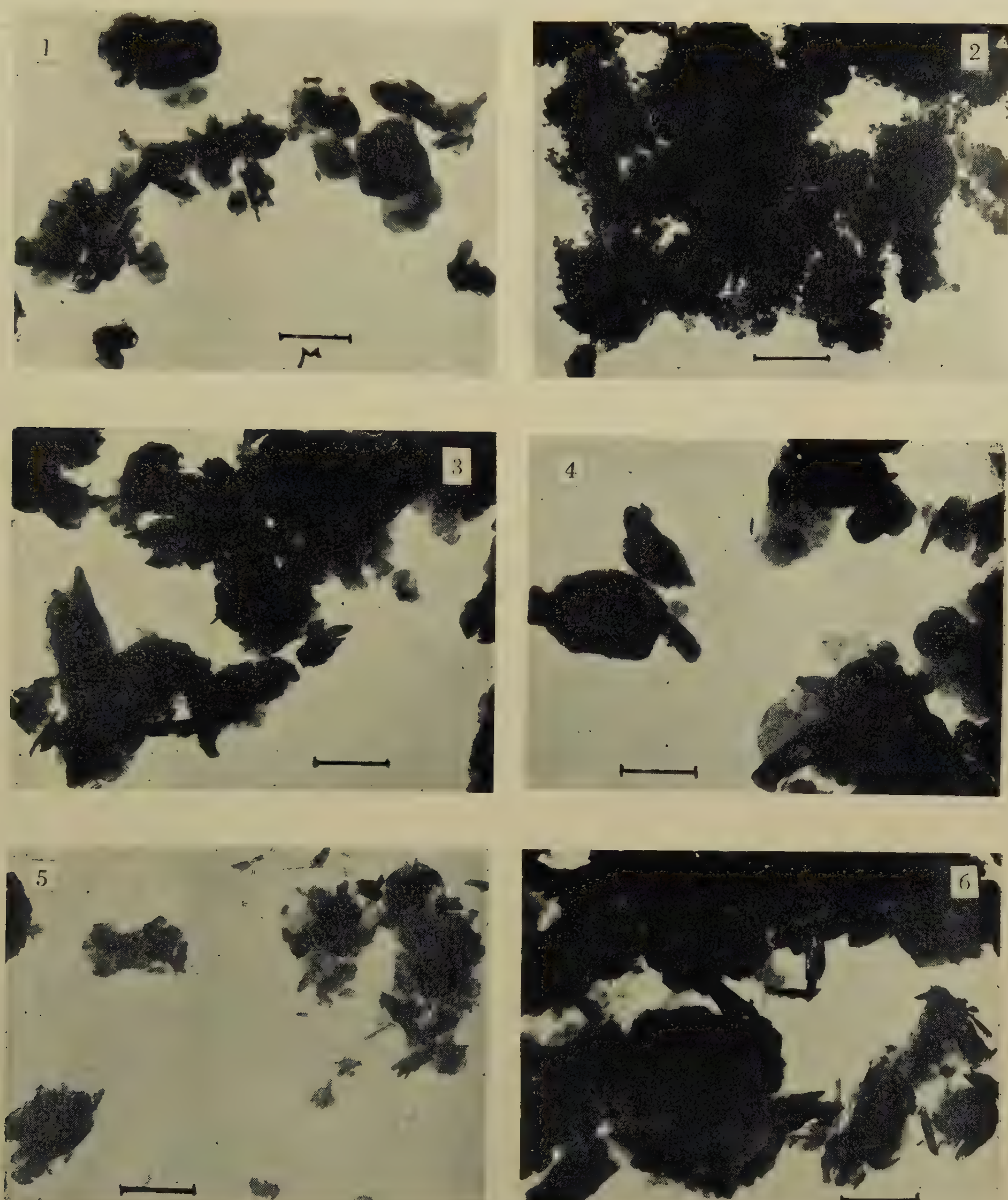
Fig. 1. Kamura (No. 1).
Fig. 2. Kanae (No. 3).
Fig. 3. Kajiyamada (No. 4).
Fig. 4. Takasu (No. 5)
Fig. 5. Seto A (No. 12).
Fig. 6. Ôkura (No. 14).

Plate 2. Hiroshima Prefecture

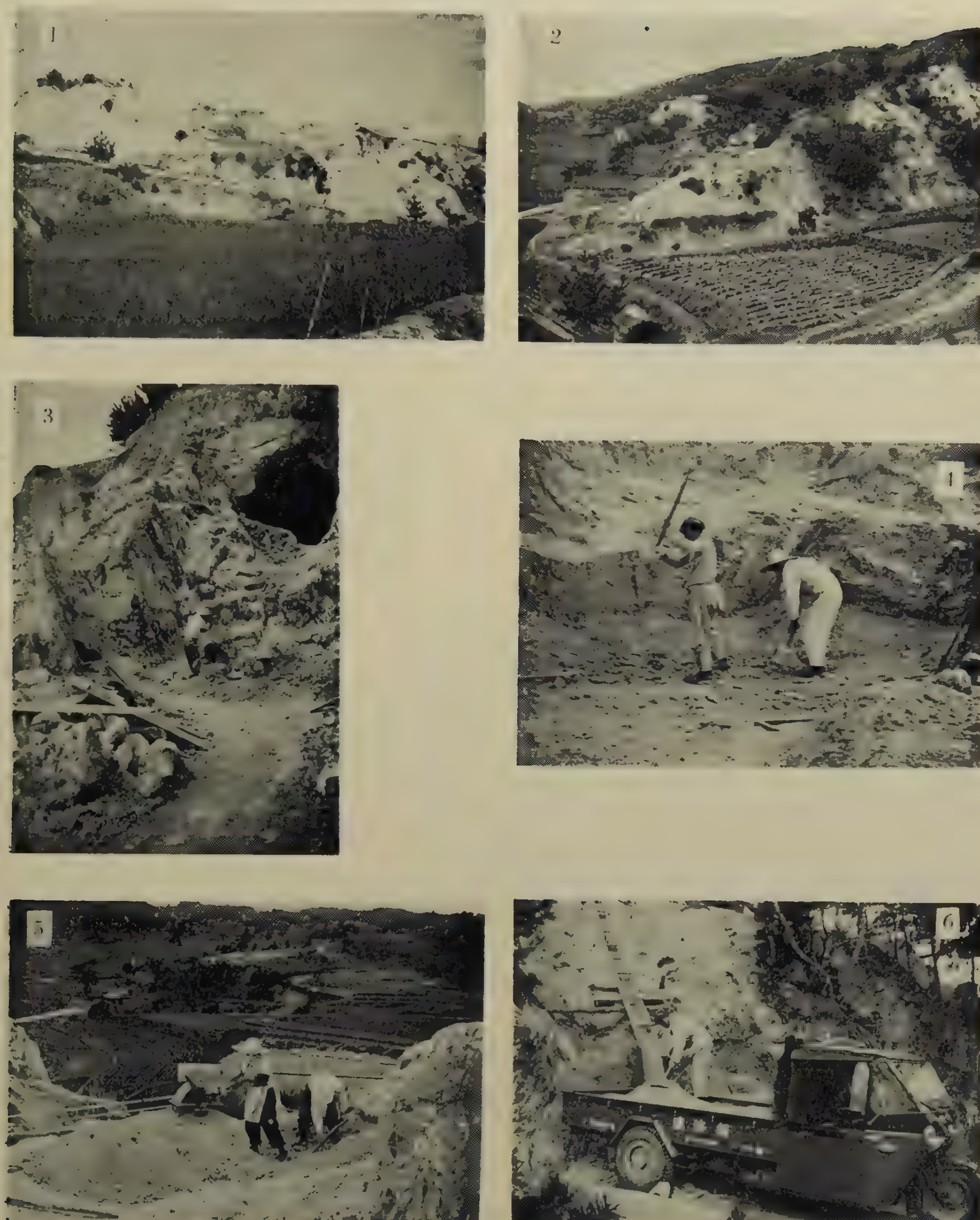
Fig. 1. Distant view, Kajiyamada.
Fig. 2. 〃 , 〃
Fig. 3. Removing soil, 〃
Fig. 4. 〃 , 〃
Fig. 5. Breaking up soil, 〃
Fig. 6. Loading of soil, 〃

Plate 3. Hyôgo Prefecture

Fig. 1. Thick horizon of soil, Ôkura.
Fig. 2. 〃 , 〃
Fig. 3. Loading for drying, 〃
Fig. 4. Spreading for drying, 〃
Fig. 5. Drying of soil and breaking up in pieces, 〃
Fig. 6. 〃, Ôkubo.



IKEDA & MATSUI: Soil for Coating Mat Rushes



IKEDA & MATSUI: Soil for Coating Mat Rushes













IKEDA & MATSUI: Soil for Coating Mat Rushes

瀬戸内海の潮汐について

松　平　康　雄
広島大学水畜産学部水産学科
吉　沢　　博
神戸海洋気象台

On the Tides of the Seto Inland Sea

Yasuo MATSUDAIRA
Department of Fisheries, Faculty of Fisheries and Animal Husbandry, Hiroshima University, Fukuyama
and
Hiroshi YOSHIZAWA
Kobe Marine Observatory

(Text-figs. 1-4: Tables1-8; Appendix Tables 1-3)

(I) 序

瀬戸内海の潮汐は極めて複雑であり，又各海区それぞれに著しい特性を持つ．又潮流については更に複雑であって，その微細に亘る現象に就ては，現在でもなお調査されていないことが多い．しかし，内海の潮汐潮流に関しては先人の調査研究が再々行われ，現在もなお続けられている．小倉博士のこの方面での成果は著名であり，又海上保安庁・気象庁の潮汐潮流調査についての業績も大きい．

近時，海上交通・沿岸諸産業の著しい発展に伴い，内海の潮汐現象が民生上に関与する面が多くなり，一方観測網の充実と資料精度の向上も見るべきものがある．この命題の解明は，筆者等の一朝一夕に成し得ることではないが，先人の業績を引用して次の4項目について新しい資料を加え調査したので発表する．

1. 最近5カ年間の内海各地の気象潮について
2. 内海の東西方向の断面図による同時海面傾斜状況について
3. 内海各地の潮汐調和常数及び非調和常数について
4. 内海各地の潮候改正数について

(II) 最近5カ年の内海各地の気象潮について

昭和27年から昭和31年に至る5カ年の潮位観測資料につき，気象庁の所管する宇野・高

松・松山・呉の4他点を選び，気象潮の実態を調査した．先ずこれら4検潮所の観測基準面に関する諸元を示すと次の様である．

Table 1. Datum levels of the four tidal stations

Station	Below mean sea level (Tokyo-wan)	Below local mean sea level	Period of statistics
	m	m	
Uno	1.438	1.640	1951～1956
Takamatsu	1.560	1.868	1949～1956
Matsuyama	2.248	2.329	1950～1956
Kure	—	2.627	1952～1956

(1) 気象潮の計算方法

計算を簡素化し，しかも近似的な値を得るために次の方法によることにした．

$$\triangle h = H_t - \frac{H_{t-25} + H_{t+25}}{2}$$

$\triangle h$ は求むべき気象潮の量 (cm), H_tは$\triangle h$に対応する時間の実測潮位（H_t はすべて正時における値を採った）. H_{t-25}, H_{t+25} はそれぞれ H_t より25時間前又は後の実測潮位である．

実際には，各地の潮汐月表の5ヵ年間の記録の毎時潮位を遂次追跡した（附表1）．

(2) 調査結果

各地共気象潮の量が20cm以上に達した現象をことごとく抽出したが，その回数分布は次表の様である．

Table 2. Number of times that the height of meteorological tide exceeded 20 cm at the four tidal stations

Height of meteorological tide (cm)	Tidal station			
	Uno	Takamatsu	Matsuyama	Kure
20～ 24	90	76	74	95
25～ 29	44	49	32	48
30～ 34	12	19	14	24
35～ 39	9	2	9	11
40～ 44	5	3	1	5
45～ 49	2	4	2	1
50～ 54	2	1	0	1
55～ 59	0	1	0	0
60～ 64	0	1	0	1
65～ 69	0	0	1	0
70～ 74	1	1	0	0
75～ 79	0	2	2	2
80～ 84	2	0	1	0
85～ 89	1	0	0	0
90～ 94	0	0	1	0
95～ 99	0	0	0	1
100～104	0	1	0	1
105～109	0	0	0	0
110～114	0	0	0	1
115～119	0	0	1	0
Total	168	160	138	191

又“高潮”と呼ばれる現象は次の二つに区分することも出来る．

1. 気象潮の量が50cm以上に達した現象……………………………………①
2. 潮位が大潮平均高潮位上50cm以上に達した現象…………………………②

この区分に従って分類すると其回数は次の様になる.

Table 3. Number of times that the "high tide" was recorded at the four tidal stations

Tidal station	Classification of "high tide"	
	①	②
Uno	6	2
Takamatsu	7	3
Matsuyama	6	3
Kure	7	3

① Height of the meteorological tide exceeded 50 cm.
② Tidal level reached over 50 cm above the mean high water spring.

高潮に伴う被害は沿岸及び港湾施設の現状等から見て普通区分②による現象のものが多く，この観点から気象条件等を見て例示すると次の様になる.

A) 昭和29年9月13日　台風 5412 号による現象

Table 4. The meteorological tide due to Typhoon No. 5412 (September 13, 1954)

Tidal station	Max. height above D. L. (cm)	Max. height of the meteor. tide (cm)	*Wind		**Minimum pressure (mb)	**Maximum wind	
			Direction	Velocity (m/sec)		Direction	Velocity (m/sec)
Uno	347	54	—	—	—	—	—
Takamatsu	354	64	ESE	16.3	980.4	ESE	21.9
Matsuyama	475	78	ESE	11.5	972.4	ESE	20.5
Kure	510	79	E	16.0	972.1	SSW	20.0

*Concurrent with the indicated meteorological tide.
**The maximum (or minimum) recorded shortly before or after the occurrence of the indicated meteorological tide.

B) 昭和29年9月26日　台風 5415 号による現象

Table 5. The meteorological tide due to Typhoon No. 5415 (September 26, 1954)

Tidal station	Max. height above D. L. (cm)	Max. height of the meteor. tide (cm)	*Wind		**Minimum pressure (mb)	**Maximum wind	
			Direction	Velocity (m/sec)		Direction	Velocity (m/sec)
Uno	344	87	—	—	—	—	—
Takamatsu	367	102	W	10.1	974.8	SW	24.4
Matsuyama	459	118	WSW	14.5	968.6	S	24.7
Kure	514	114	WNW	13.2	968.7	WNW	25.3

*, ** See the footnote of Table 4.

C) 昭和30年9月30日　台風 5522 号による現象

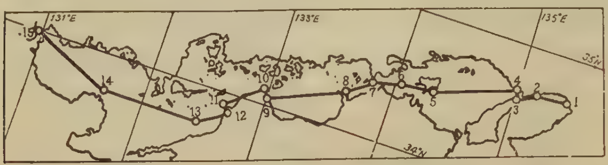
Table 6. The meteorological tide due to Typhoon No. 5522 (September 30, 1955)

Tidal station	Max. height above D. L. (cm)	Max. height of the meteor. tide (cm)	*Wind		**Minimum pressure (mb)	**Maximum wind	
			Direction	Velocity (m/sec)		Direction	Velocity (m/sec)
Matsuyama	454	92	S	12.0	988.0	S	14.9
Kure	508	98	SW	12.8	987.3	SW	18.1

* ** See the footnote of Table 4.

(III) 内海の東西方向の断面に見られる海面傾斜について

瀬戸内海を大阪から壇の浦まで約260浬に亘って次の各地を通る同時潮位断面図を各季の潮期に分けて作成した.



Text-fig. 1. The east-westward section of the Seto Inland Sea used in the study of the sea level profile.

1. Ôsaka	5. Sakate	9. Imabari	13. Aoshima
2. Kôbe	6. Ogishima	10. Hashihama	14. Himeshima
3. Iwaya	7. Nabeshima	11. Gogoshima	15. Dannoura
4. Akashi	8. Awashima	12. Mitsuhama	

大阪 (16浬) 神戸 (12浬) 岩屋 (6浬) 明石 (36浬) 坂手 (14浬) 男木島 (12浬) 鍋島 (10浬) 粟島 (32浬) 今治 (6浬) 波止浜 (24浬) 興居島 (4浬) 三津浜 (12浬) 青島 (40浬) 姫島 (36浬) 壇の浦

断面図は次の各種である.
(潮位縮率1/40)

図 2-1	春季大潮期	月令14.5	1956	V	25
図 2-2	〃 小潮〃	〃 21.9	〃	V	3
図 2-3	夏季大潮期	〃 18.6	1955	VIII	7
図 2-4	〃 小潮〃	〃 9.3	〃	VIII	27
図 2-5	秋季大潮期	〃 15.6	〃	XI	30
図 2-6	〃 小潮〃	〃 10.6	〃	XI	25
図 2-7	冬季大潮期	〃 16.1	1956	II	28
図 2-8	〃 小潮〃	〃 10.1	〃	II	22

(1) 断面図の作成方法

大阪・神戸・明石・高松・今治・波止浜・三津浜・壇の浦の8港を標準港とし，それぞれの地の実測潮位（自記検潮儀による）を2時間間隔に求め，それを東京湾中等潮位上の潮位に改算した.

岩屋・坂手・男木島・鍋島・粟島・興居島・青島・姫島の各港については，それぞれ潮候状況の類似している標準港より潮時及び潮高改正数を乗じて求めた．東京湾中等潮位に基準面を改正するに際し使用した各地の改正数を次表に示す.（表中，水準測量によって定まる値は測量誤差が若干含まれている.）

Table 7. Corrections and standard stations for converting locally observed tidal heights to the heights above the M. S. L. of Tokyo-wan

Station	Correction for tidal height	Standard station	Ratio of the range	Time difference	Station	Correction for tidal height	Standard station	Ratio of the range	Time difference
	m					m			
Osaka	+2.211	—	—	—	Awashima	—	Takamatsu	1.76	+16min.
Kobe	+1.070	—	—	—	Imabari	+2.963	—	—	—
Iwaya	—	Kobe	0.64	+10min.	Hashihama	+2.503	—	—	—
Akashi	+1.104	—	—	—	Gogoshima	—	Mitsuhama	0.94	+10min.
Sakate	—	Takamatsu	0.54	− 6min.	Mitsuhama	+2.248	—	—	—
Takamatsu	+1.560	—	—	—	Aoshima	—	Kure	0.90	−50min.
Ogishima	—	Takamatsu	0.93	+11min.	Himeshima	—	Kure	0.87	−40min.
Nabeshima	—	Takamatsu	1.43	+15min.	Dannoura	+2.549	—	—	—
					Kure	+2.348	—	—	—

（2）　海水面変化の概況

断面図を概観するに最も顕著な特長は備讃瀬戸東部又は備後灘東部の粟島・六島近辺において潮位の相異が最も著しいことで，大潮期における最大潮位差は2.8m（壇の浦 ～ 粟島）にも達するが，傾向としては季節的変化に乏しい．これは紀伊水道と豊後水道から入る両潮浪がこの近辺で会同するためである．一方季節変化が乏しいのは陸地に対する潮位ではなく，相互地点間の相対的潮位差を取扱った為である．

更に明石海峡・備讃瀬戸・来島海峡等各瀬戸の両端に於る潮位差も可成り顕著に表れている．

一般に，両端に潮汐のある狭い海峡の潮流は

$$v=c\sqrt{2gh}$$

で取扱はれて居る．v=流速，cは0と1の間にある常数，g=重力の加速度，h=両端の潮位差．

断面図によった場合，明石海峡及び備讃瀬戸は両端の潮位が場所的に適当でないため上式の適用は妥当でないが，来島海峡については今治・波止浜の潮位差を使用した上式の結果と既刊潮流表との比較は $c=1.0$ として次表の様に良好な一致を示した．

Table 8. Velocities of tidal current at Kurushima-kaikyo computed from the difference between the tidal levels at Imabari and Hashihama

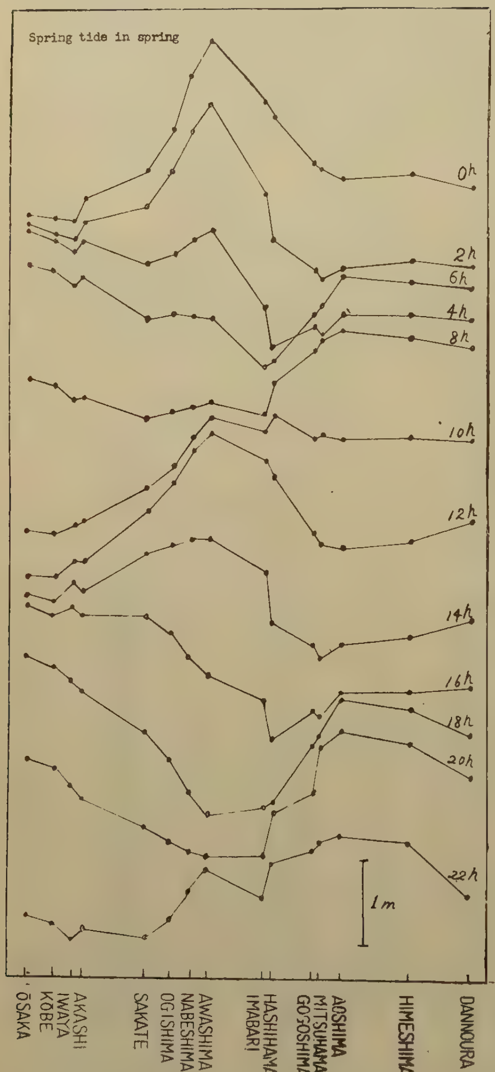
〔$v=c\sqrt{2gh}$; $c=1.0$〕

h (cm)	$c=1.0$		$c=0.9$		$c=0.8$		$c=0.7$		$c=0.6$	
	cm/s	knot	cm/s	knot	cm/s	knot	cm/s	knot	cm/s	knot
5	99.0	1.9	89.1	1.7	79.2	1.5	69.3	1.3	59.4	1.2
10	140.0	2.7	126.0	2.4	112.0	2.2	98.0	1.9	84.0	1.6
15	171.5	3.3	154.4	3.0	137.2	2.7	120.1	2.3	102.9	2.0
20	198.0	3.8	178.2	3.5	158.4	3.1	138.6	2.7	118.8	2.3
25	221.4	4.3	199.3	3.9	177.1	3.4	155.0	3.0	132.8	2.6
30	242.5	4.7	218.3	4.2	194.0	3.8	169.8	3.3	145.5	2.8
35	261.9	5.1	235.7	4.6	209.5	4.1	183.3	3.6	157.1	3.1
40	280.0	5.4	252.0	4.9	224.0	4.4	196.0	3.8	168.0	3.3
45	297.0	5.8	267.3	5.2	237.6	4.6	207.9	4.0	178.2	3.5
50	313.1	6.1	281.8	5.5	250.5	4.9	219.2	4.3	187.9	3.7
55	328.3	6.4	295.5	5.7	262.6	5.1	229.8	4.5	197.0	3.8
60	342.9	6.7	308.6	6.0	274.3	5.3	240.0	4.7	205.7	4.0
65	356.9	6.9	321.2	6.2	285.5	5.5	249.8	4.9	214.1	4.2
70	370.4	7.2	333.4	6.5	296.3	5.8	259.3	5.0	222.2	4.3
75	383.4	7.5	345.1	6.7	306.7	6.0	268.4	5.2	230.0	4.5
80	396.0	7.7	356.4	6.9	316.8	6.2	277.2	5.4	237.6	4.6
85	408.2	7.9	367.4	7.1	326.6	6.3	285.7	5.6	244.9	4.8
90	420.0	8.2	378.0	7.3	336.0	6.5	294.0	5.7	252.0	4.9
95	431.5	8.4	388.4	7.5	345.2	6.7	302.1	5.9	258.9	5.0
100	442.7	8.6	398.4	7.7	354.2	6.9	309.9	6.0	265.6	5.2

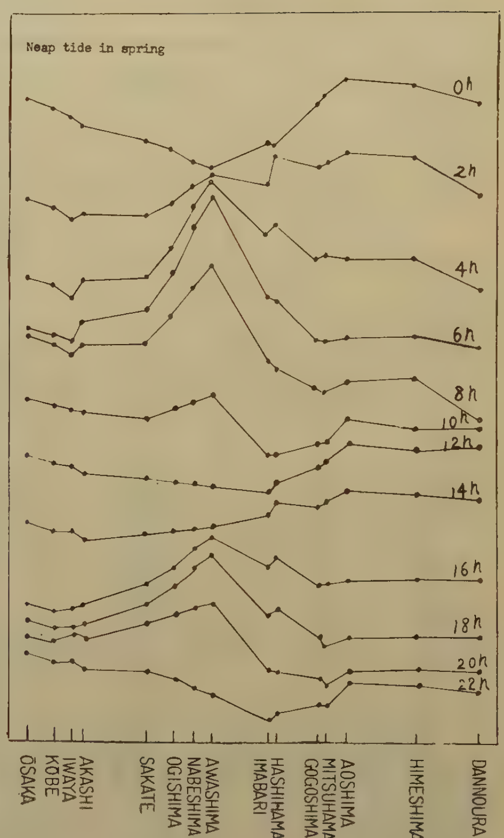
結局潮浪の速さ$v=c\sqrt{2gh}$で起される一種の押引流と，この図に見られる様な海面に起る緩い水位傾斜による流れとが水の動いてゆく方向に及び，従って流れに先行した海域に於て地形的に湾入したり或は岬でも出て居ると，其沿岸には局地的に水位の高まりや，特種の速い流れが起りうるわけである．一般に地方の漁夫に知られて居る異状な速い局地の流れはこの様なものであろう．

（3）　内海に於ける船舶の航行と潮流利用

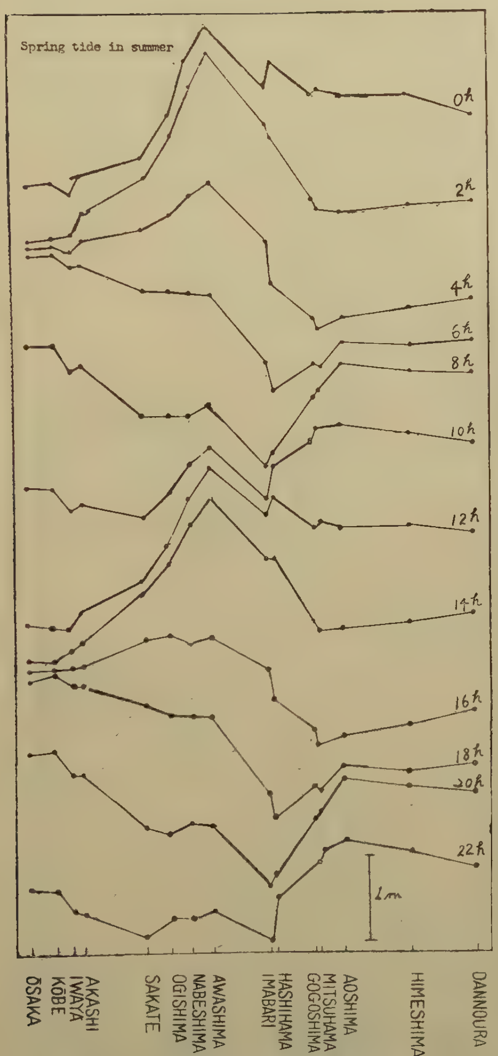
航海中の船舶は必ず海流潮流の影響を受けるものであるが，瀬戸内海の如き潮汐流の発達



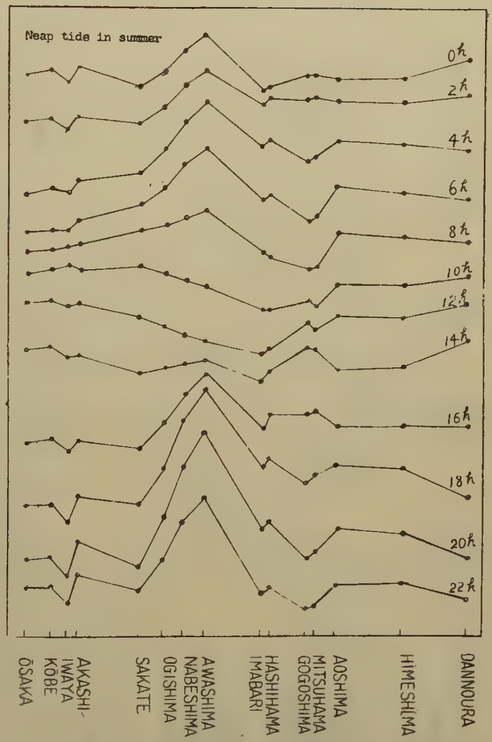
Text-fig. 2-1. Sea level profiles in the spring tide in spring. (May 25, 1956. Moon age 14.5)



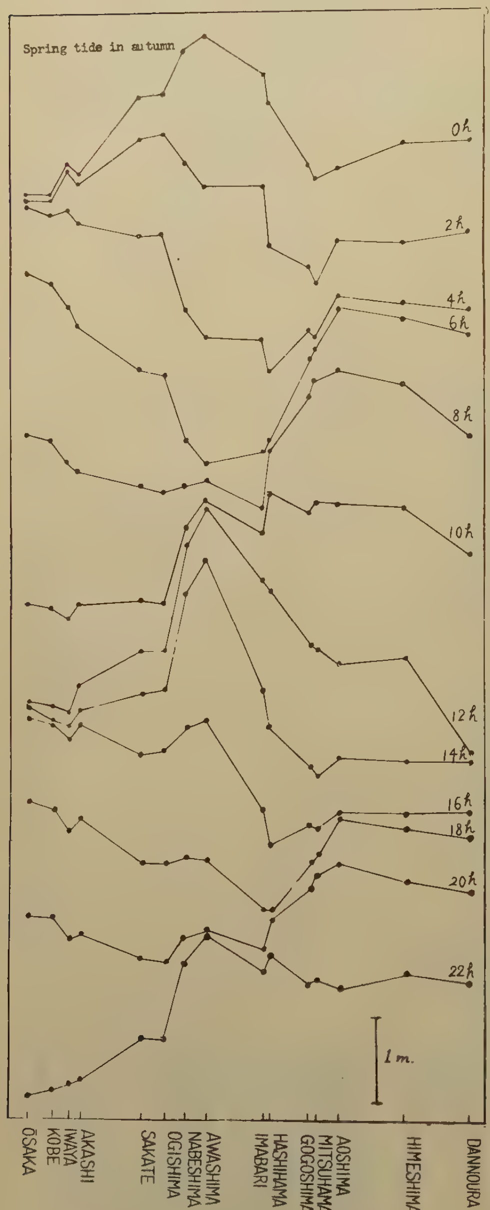
Text-fig. 2-2. Sea level profiles in the neap tide in spring. (May 3, 19 56. Moon age 21.9)



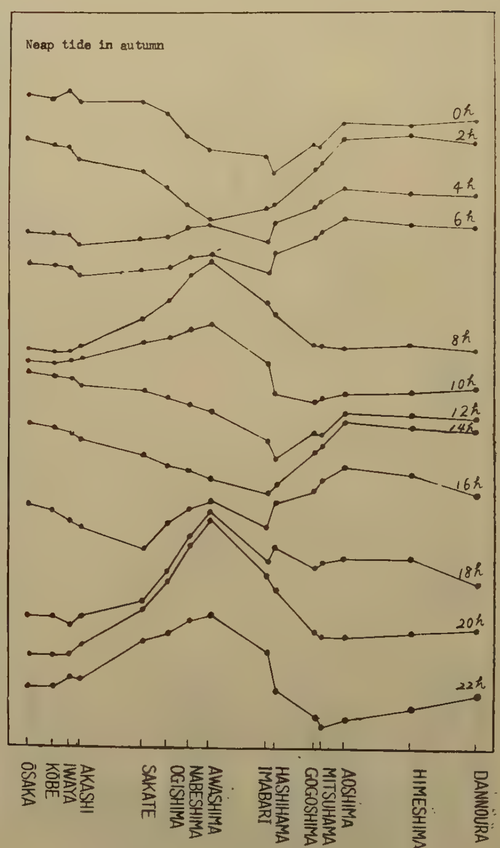
Text-fig. 2–3. Sea level profiles in the spring tide in summer. (August 7, 1955. Moon age 18.6)



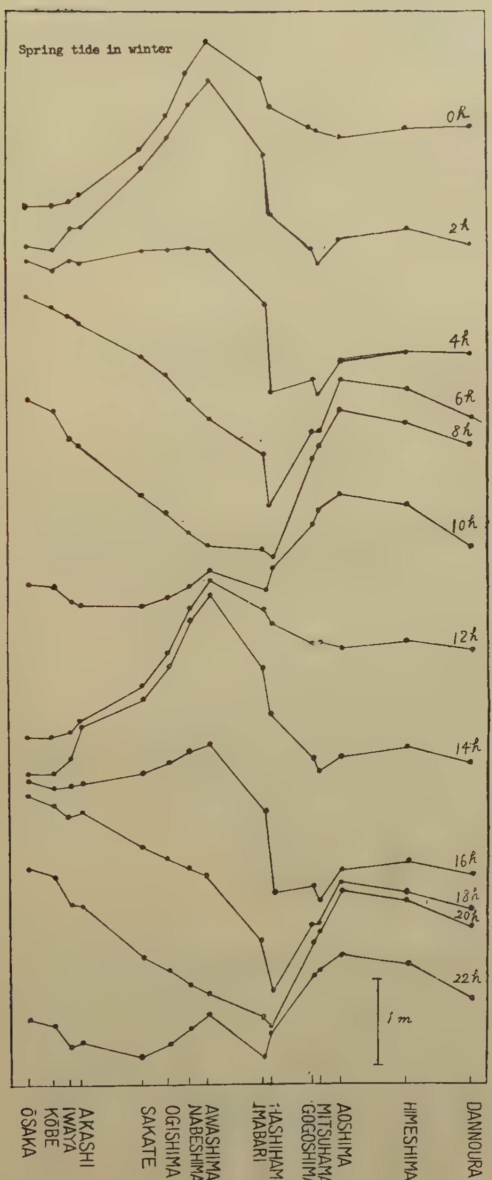
Text-fig. 2–4. Sea level profiles in the neap tide in summer. (August 27, 1955. Moon age 9.3)



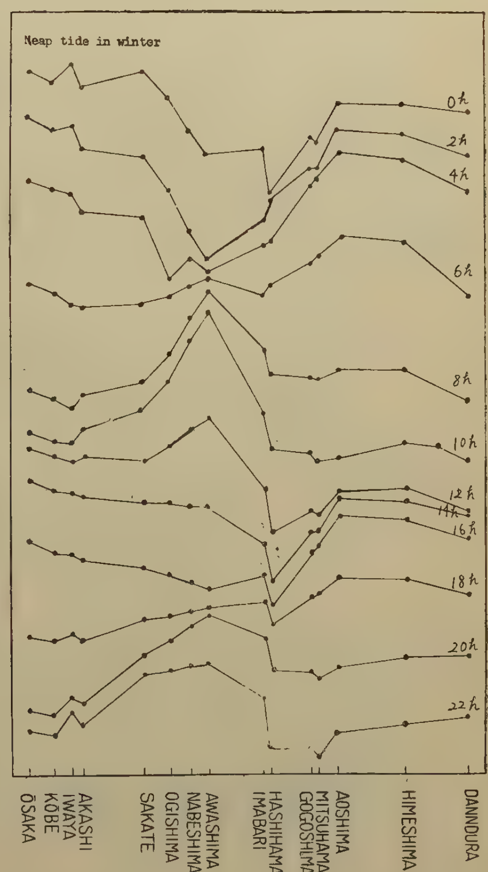
Text-fig. 2-5. Sea level profiles in the spring tide in autumn. (November 30, 1955. Moon age 15.6)



Text-fig. 2-6. Sea level profiles in the neap tide in autumn. (November 25, 1955. Moon age 10.6)



Text-fig. 2-7. Sea level profiles in the spring tide in winter. (February 28, 1956. Moon age 16.1)



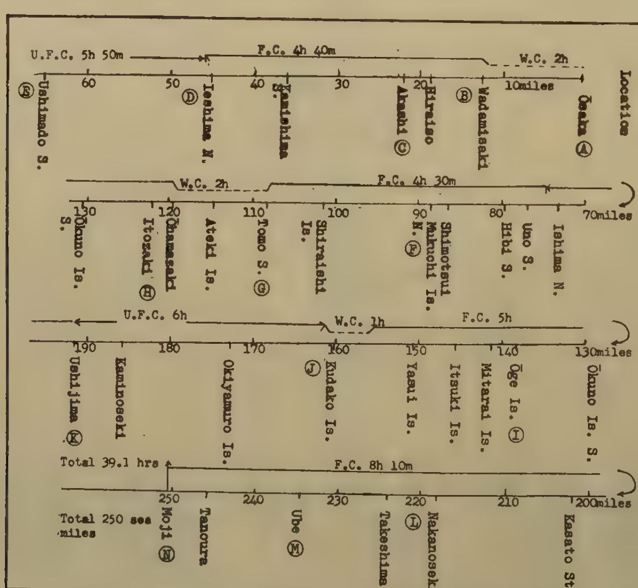
Text-fig. Text-fig. 2-8. Sea level profiles in the neap tide in winter. (February 22, 1956. Moon age 10.1)

する海域を航海する小型船舶（主として機帆船）にとっては著しく其影響を受ける．瀬戸内海を阪神地区から関門に向う航海の場合や又その逆航路の際，前項で述べた豊後・紀伊両水道から入る両潮浪が備後灘東部で合致すると云う現象を利用すると否とでは航走時間数において著しい相違を来たす．即ち西航，東航いづれの場合にも約 6 時間順潮で航走した後この地点を通過すれば更に約 6 時間都合約 12 時間を順潮で航走し得るのである．

これを逆にするときは約12時間連続して逆潮となる。（潮時により若干の相違はある。）そこで前述の断面図とは若干異るが機帆船が最も多く利用する航路（図 3 - 1）についてこのことを具体的に検討する．図 3 - 1 に示す航路は約 250 浬であるが，これを大阪から門司に向け平水域船速 6 ノットの機帆船が天候平穏な大潮時の日に航海する際，潮時の選び方によって図 3 - 2，図 3 - 3 のような差を生じる．

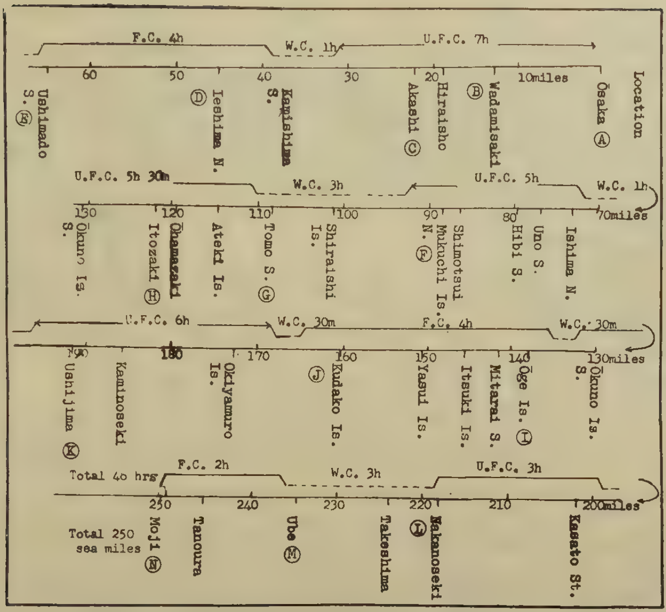


Text-fig. 3-1. A route between Osaka and Moji in the Seto Inland Sea. (A-N refer to the locations indicated with the same letters in Text-figs. 3-2 and -3)



Text-fig. 3-2. The time taken by a ship (with a self-propelling speed of 6 knots) in her passage from Ôsaka to Moji. Advantage is taken of tidal currents. (Total cruising time: 39.1 hrs. Total run 250 sea miles.)

W. C.………… Weak current（微弱）
F. C. ………… Favorable current（順潮）
U. F. C.……… Unfavorable current（逆潮）



Text-fig. 3-3　The time taken by a ship (with a self-propelling speed of 6 knots) in her passage from Ôsaka to Moji. Advantage is not taken of tidal currents. (Total cruising time: 46 hrs. Total run 250 sea miles.)

W. C.………… Weak current (微弱)
F. C. ………… Favorable current (順潮)
U. F. C.……… Unfavorable current (逆潮)

これらの航海図はいずれも最良又は最悪の場合を示すものではないが，それにしても航海時数において約7時間，平均船速にして1ノットの差を生じ，瀬戸内を航海する船舶が各々の船速に応じ最良の航海方法を潮時によって定めることがいかに重要であるかを示すものである．

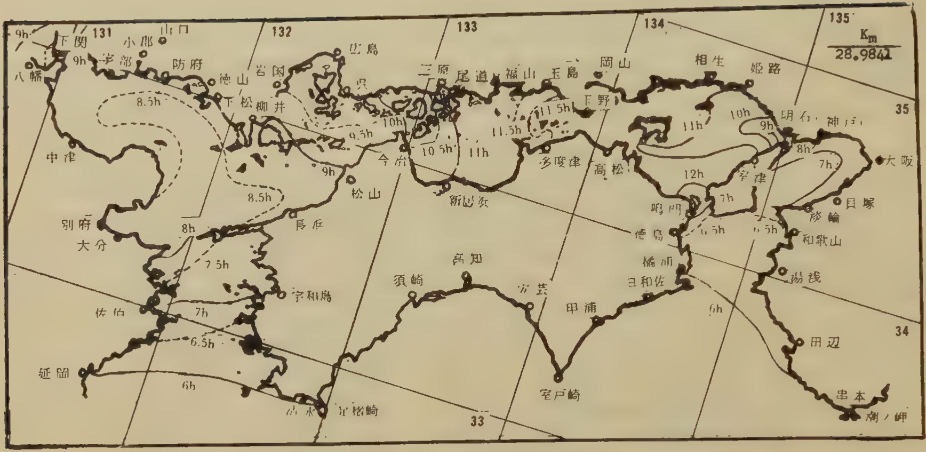
(IV)　瀬戸内海各地の潮汐調和常数及び非調和常数について

(1)　概　説

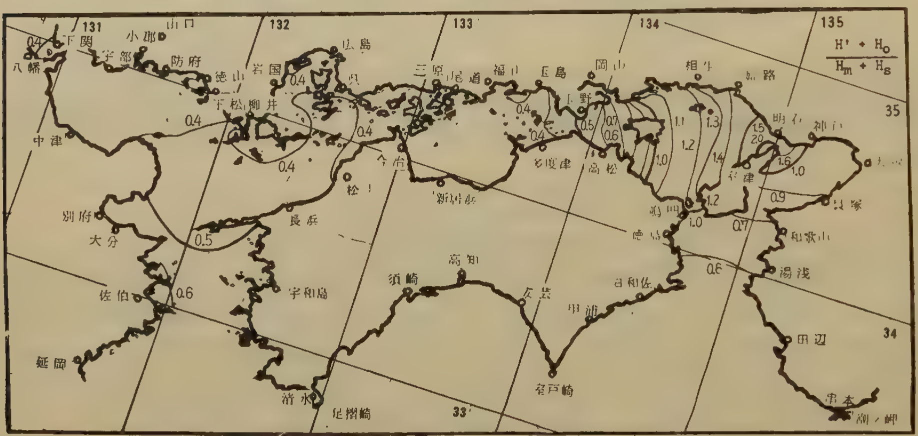
瀬戸内海沿岸には潮汐調和常数が算出されている個所が多い(註)．この度これら既往の結果を附表2の如くとりまとめ，又一部の非調和常数を計算した．尚気象庁の潮汐表に公表した地点のものは省略した．又非調和常数については平面図にまとめ次の様に分類した

即ち　図4-1　平均高潮間隔分布図　　図4-5　小潮差分布図
　　　図4-2　日潮不等分布図　　　　図4-6　大潮升分布図
　　　図4-3　平均潮差分布図　　　　図4-7　小潮升分布図
　　　図4-4　大潮差分布図

(註)　1. 気象庁．1958．潮汐表．
2. 中野猿人．1940．潮汐学．(古今書院)
3. 小倉伸吉．1933．水路部報告第7巻．(水路部)
4. 岩田憲幸．1953．水路要報増刊10号．(水路部)
5. 神戸海洋気象台．1950～1952. 潮汐報告．
6. I.H.B. 1926. Tables for the calculation of tides by means of harmonic constants. Monaco.
7. 神戸市．1958. 明石海峡調査報告．



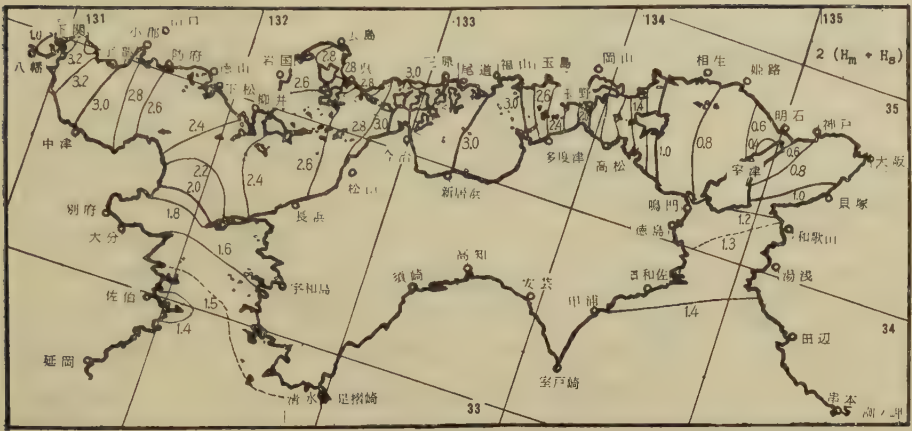
Text-fig. 4-1. Tidal chart of the Seto Inland Sea: Mean high water interval (hrs.) $\left[\frac{\kappa_m}{28.9841}\right]$



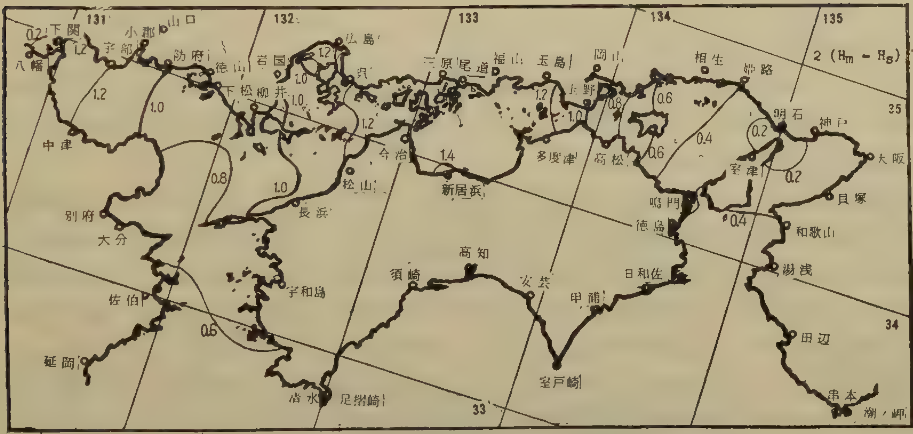
Text-fig. 4-2. Tidal chart of the Seto Inland Sea: Diurnal inequality (m.) $\left[\frac{H'+H_o}{H_m+H_s}\right]$



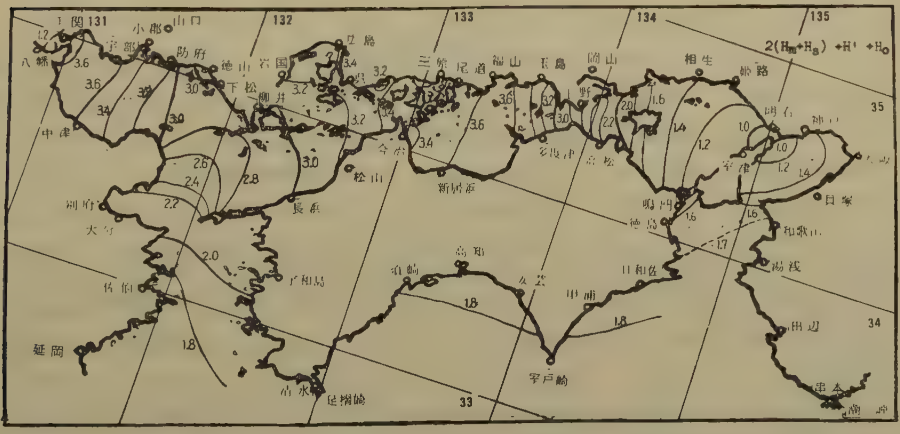
Text-fig. 4-3. Tidal chart of the Seto Inland Sea: Mean range (m.) 〔$2H_m$〕



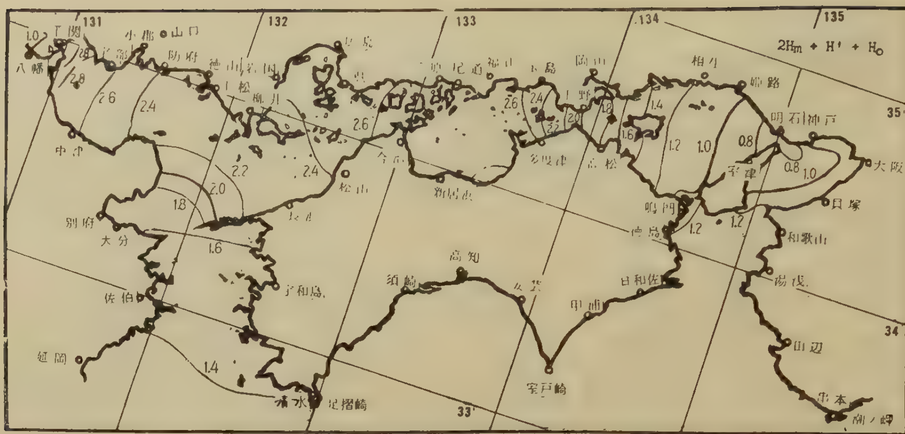
Text-fig. 4-4. Tidal chart of the Seto Inland Sea: Spring range (m.) 〔$(2H_m+H_s)$〕



Text-fig. 4-5. Tidal chart of the Seto Inland Sea: Neap range (m.) 〔$2(H_m-H_s)$〕



Text-fig. 4-6. Tidal chart of the Seto Inland Sea. Spring rise (m.) 〔$2(H_m+H_s)+H'+H_o$〕



Text-fig. 4-7 Tidal chart of the Seto Inland Sea: Neap rise (m.) $[2H_m+H'+H_o]$

（2） 非調和常数分布図について

A) 平均高潮間隔の分布

図 4-1 によると潮浪の進行の状況が明らかである．即ち 135°E の子午線に太陰が南中して後約 6 時間後に紀伊水道，豊後水道の入口附近に満潮を起した潮浪は約 5時間半後に備讃瀬戸西部又は備後灘東部で相会する．

紀伊水道より入った潮浪は友ケ島水道，大阪湾，明石海峡を経て播磨灘に入り備讃瀬戸を西進する．この間明石海峡を通過するのに約1時間を要し，又鳴戸海峡は殆んど通過しない．即ち岩屋・江崎の間は約4粁であるが潮時差は40分に達し，鳴戸海峡にあっては福良・阿那賀浦の間（距離 5 粁）で 潮時差は 5 時 13 分となって殆ど 1 潮時の差がある．即ち門崎・孫崎の一線上では著しい落差を生じ，激湍となって潮流が流れるのである．

豊後水道より入った潮浪は 2 派に分れ，1 は周防灘を西進して下関海峡に至り他は東進して伊予灘，安芸灘，東部備後灘及び燧灘を通過し備讃瀬戸に至り，友ケ島水道より進入して西進する潮浪と相会する．又潮浪の一部は大畠瀬戸，諸島水道等を通じて広島湾に進入する．

B) 日潮不等の分布

内海にあっては太陰赤緯の関係よりも場所によって著しい不等を常に示すところがあり，たとえば図 4－2 に見られる通り内海東部のような地域である．これは半日週潮（太陰潮）と日週潮（太陽潮）との潮差は一定であっても各々の高潮時に遅れがあれば日潮不等の現象が起るのである．即ち日週潮は進行波の性格を持つに反し，半日週潮は定常波的であるので明石・鳴戸の如き狭い海峡にあっては前者の潮差に比して后者の潮差が著しく小となり，顕著な日潮不等を生じるものである．明石海峡附近は，日潮不等が最も顕著で明石港では毎月の過半数は 1 日 1 回潮となり他の日も著しい不等がある．播磨灘では日潮不等は未だ可成りあるが備讃瀬戸東部に至って $\dfrac{H'+H_o}{H_m+H_s}$ の値は1となり，西に移るにつれて半日週潮の方が大となり日潮不等の現象は殆どなくなってしまう．これは瀬戸内海潮汐の特長の一つである．

C) 平均潮差，大潮差，小潮差の分布について

図 4－3，－4，－5 は同種のもので図 4－4，－5 の平均が図 4－3 となっている．

いずれも同様の傾向を示し鳴戸・明石・下関の各海峡で潮差は減少し，内海中央部及湾奥に行くにつれて潮差は増加している．これは潮浪の進行が流去して潮流となり，堆積して潮汐現象となることを表している．

D)　大潮升，小潮升の分布図について

図4-6，-7は基本水準面上の大潮又は小潮時の平均水面高の分布図であって，陸地に対する海水面の位置を表わすものとして見ることが出来る．大潮升，小潮升共に備讃瀬戸での変化著しく前者にあっては約2m，后者では約1.2mの相違がある．

又，下関海峡を界にして瀬戸内海と玄海灘とに大潮升，小潮升共に著しい潮候状態の相違がある．即ち大潮升について内海側（苅田・苅屋）と外海側（若松・南風泊）を比較すれば内海側は約2.5m高く，小潮升については約2.0m高くなっている．

(V)　内海各地の潮候改正数について

附表2に紀伊水道・内海東部・内海西部・豊後水道，ついでに土佐湾の5海区について138港の潮時及潮高改正数を集録した．この内標準港としては次の潮汐表が毎年出版されて居るものを選定した．

標準港	潮汐表出版元
和歌山	気象庁　潮位表；海上保安庁　内海潮汐表
小松島	気象庁　潮位表
洲本	気象庁　潮位表
淡の輪	気象庁　潮位表
大阪	気象庁　潮位表；海上保安庁　内海潮汐表
神戸	気象庁　潮位表；海上保安庁　内海潮汐表
家島	神戸海洋気象台　気象暦；海上保安庁　内海潮汐表（姫路と同じ）
宇野	気象庁　潮位表
高松	気象庁　潮位表；海上保安庁　内海潮汐表
糸崎	気象庁　潮位表
呉	気象庁　潮位表；海上保安庁　内海潮汐表
松山	気象庁　潮位表；海上保安庁　内海潮汐表
徳山	海上保安庁　内海潮汐表
宇部	気象庁　潮位表
下関	気象庁　潮位表；海上保安庁　内海潮汐表
若松	海上保安庁　内海潮汐表
苅田	気象庁　潮位表
宇和島	気象庁　潮位表；海上保安庁　内海潮汐表
土佐清水	気象庁　潮位表
高知	気象庁　潮位表

(VI)　結　語

この調査にあたって神戸海洋気象台長柴田淑次博士及び海洋課長菱田耕造博士は資料の提供等調査に最大の便宜を与えられた．同台入江一男氏及び酒井孝子氏には計算製図の御援助を得た．記して厚く御礼申上げる．又助手として御協力を得ていた福岡真弓氏は調査なかばにして昭和32年12月30日不慮の事故により急死された．ここに心より同氏の御冥福をお祈りする．尚本研究には一部文部省の32年度科学研究費の援助をうけた．（昭和33年10月の日本水産学会中四国支部大会で発表済み）

(VI) SUMMARY

We studied on the following elements of the tides in the Seto Inland Sea.

(1) Meteorological tides observed at four tidal stations (Uno, Takamatsu, Matsuyama and Kure) during the recent five years, 1952–1956. (Appendix Table 1.)

(2) The profiles of the tidal level along the east-westward section of the Sea in different seasons. Ôsaka, Kôbe, Akashi, Takamatsu, Imabari, Hashihama, Mitsuhama and Dannoura were selected as the standard stations for the calculation of the sea level.

(3) Harmonic and non-harmonic constants for the tidal stations located in the Sea.

(4) The time difference and the ratio of the range of tide for the tidal stations in the Sea.

I. Meteorological tides at the four stations were computed numerically with the following formula:

$$\triangle h = H_t - \frac{H_{t-25} + H_{t+25}}{2}$$

$\triangle h$: Height of the meteorological tide.

H_t : Observed height of tide at the time when the meteorological tide $\triangle h$ occurred.

H_{t-25}, H_{t+25} : Observed heights of tide 25 hours before and after H_t was observed, respectively.

II. Simultaneous heights of tide at the 15 base stations (which are distributed between Ôsaka and Dannoura over a distance of about 260 nautical miles (Text-fig. 1)) are shown in Text-figs. 2–1 to 2–8 for different seasons of the year. From these figures we can see the sectional configuration of the sea level in various seasons, and are enabled to predict the districts where local slope currents will occur.

III. By taking advantage of the tidal currents, one can greatly reduce the time of navigation in traversing the Seto Inland Sea from the east to the west (or in the reverse direction). For example, as is shown in Text-figs. 3–1 to 3–3, a ship with a self-propelling speed of 6 knots and cruising from Ôsaka to Moji (about 260 nautical miles) can save about 7 hours by making the best use of tidal currents, as compared with the same ship navigating against tidal currents.

IV. The latest values of harmonic constants for 142 stations are summarized in Appendix Table 2. Non-harmonic constants for these stations were calculated from the latest data of tidal observations and are summarized in the following charts:

1. Mean high water interval (Text-fig. 4–1)
2. Diurnal inequality (Text-fig. 4–2)
3. Mean tidal range (Text-fig. 4–3)
4. Spring range (Text-fig. 4–4)
5. Neap range (Text-fig. 4–5)
6. Spring rise (Text-fig. 4–6)
7. Neap rise (Text-fig. 4–7)

V. In Appendix Table 3 we have shown the new time differences and ratios of the range of tide to be applied to the results of tidal observations at the 138 stations

located in the Seto Inland Sea and Tosa Bay. In computing these values, we selected as standard stations those 20 stations whose tidal elements had been observed and published in the tide tables by the Meteorological Agency or by the Maritime Safety Agency.

Appendix Table 1. Data of meteorological tides

Tidal Station "Uno" (34°29′N, 133°57′E)

Year	Month & day	Time h. m.	Sea level departure cm	Time h. m.	Highest sea level cm
1954	9. 26	9. 00	87	11. 15	344**
56	8. 17	13. 00	83	21. 00	269
54	9. 14	6. 00	81	11. 30	308*
55	9. 30	12. 00 / 13. 00	71	10. 20	306*
54	9. 13	22. 00	54	23. 22	347**
54	8. 18	21. 00	51	13. 10	311*
56	4. 20	2. 00	48	7. 20	244
53	4. 30	9. 00	46	10. 30	250
54	8. 19	0. 00	44	1. 30	313*
55	10. 4	12. 00	43	12. 40	307*
56	9. 10	11. 00 / 12. 00	43	14. 40	297*
53	5. 29	13. 00	40	10. 45	259
54	4. 12	11. 00	39	7. 10	269
56	3. 16	23. 00	39	13. 00	246
56	4. 19	23. 00	39	6. 25	245
55	12. 27	22. 00	38	9. 00	257
53	6. 7	19. 00	37	19. 15	288*
55	11. 16	11. 00	36	12. 00	288*
55	11. 21	11. 00	36	15. 10	277
56	4. 8	12. 00	36	9. 30	252
57	2. 3	14. 00	36	13. 35	261
53	3. 20	13. 00	34	2. 30	237
56	5. 10	20. 00	34	23. 25	291*
52	10. 11	12. 00	33	17. 23	257
53	1. 12	9. 00	33	9. 00	277
54	9. 8	5. 00	32	20. 30	258
56	3. 17	0. 00	32	2. 00	263
53	1. 7	11. 00 / 13. 00	31	15. 40	265
55	3. 13	11. 00	31	1. 35	251
55	3. 18	11. 00	31	6. 35	244
56	8. 2	2. 00	31	20. 15	266
54	2. 28	0. 00	30	8. 00	225
52	10. 22	10. 00	29	13. 20	293*
53	3. 21	0. 00	29	3. 00	233
54	2. 5	3. 00	29	12. 30	269
54	5. 9	11. 00	29	4. 15	256
54	9. 25	23. 00	29	22. 30	291*
56	3. 12	2. 00	29	11. 30	237
56	6. 23	18. 00	29	10. 20	258
56	7. 31	0. 00	29	3. 30	247
54	1. 24	12. 00	28	14. 25	277
55	4. 25	0. 00	28	0. 55	292*
55	7. 19	21. 00	28	23. 50	306*
53	9. 25	8. 00	27	12. 35	319*
53	9. 21	15. 00	27	21. 30	288*
55	4. 17	12. 00	27	7. 15	257
55	4. 24	23. 00	27	0. 20	275
55	7. 24	11. 00	27	2. 10	284*
55	12. 21	4. 00 / 5. 00	27	15. 40	253
56	3. 26	2. 00	27	11. 00	249
56	10. 11	11. 00	27	16. 25	251
56	12. 4	15. 00	27	12. 40	281
52	11. 28	11. 00	26	9. 05	265
53	3. 11	16. 00	26	8. 35	247
53	6. 6	7. 00	26	5. 50	266

Year	Month & day	Time h. m.	Sea level departure cm	Time h. m.	Highest sea level cm
1954	2. 27	23. 00	26	6. 30	216
54	3. 28	12. 00	26	4. 50	236
54	4. 18	11. 00	26	23. 45	262
54	5. 21	3. 00	26	1. 20	270
54	12. 29	10. 00	26	13. 40	259
55	1. 17	12. 00	26	6. 30	206
55	2. 19	22. 00	26	9. 55	246
56	8. 24	6. 00 / 10. 00	26	0. 30	284*
57	6. 27	21. 00	26	23. 15	308*
55	1. 20	13. 00	25	9. 40	253
55	1. 30	12. 00	25	14. 50	248
55	2. 27	14. 00	25	13. 55	254
55	3. 28	11. 00	25	2. 00	256
55	12. 20	18. 00	25	15. 05	256
56	3. 29	11. 00 / 13. 00	25	0. 50	281*
56	4. 25	12. 00 / 13. 00	25	23. 55	279
56	5. 2	3. 00	25	4. 05	268
53	1. 22	13. 00	24	15. 20	238
53	5. 8	9. 00	24	6. 20	267
53	12. 10	8. 00	24	14. 15	258
55	1. 10	1. 00	24	12. 50	266
55	1. 18	17. 00	24	7. 40	201
55	2. 15	13. 00	24	5. 00	213
55	2. 20	4. 00	24	10. 05	253
55	6. 19	1. 00	24	23. 00	292*
55	7. 20	2. 00	24	11. 00	261
55	12. 16	0. 00	24	12. 40	256
55	12. 28	6. 00 / 8. 00	24	10. 30	273
56	2. 29	3. 00	24	0. 40	256
56	4. 23	20. 00	24	22. 25	268
52	12. 18	7. 00	23	12. 20	278
53	3. 26	0. 00	23	9. 20	227
53	12. 15	4. 00	23	5. 20	225
54	1. 10	14. 00	23	14. 50	277
54	2. 12	1. 00	23	7. 30	240
54	2. 20	22. 00	23	12. 50	238
54	7. 20	5. 00	23	2. 00	273
54	7. 28	1. 00	23	23. 00	280
55	2. 28	0. 00	23	2. 50	255
55	3. 20	12. 00	23	9. 15	249
55	7. 25	18. 00	23	2. 35	272
55	12. 15	21. 00 / 22. 00 / 23. 00	23	11. 55	264
56	1. 28	8. 00	23	12. 15	259
57	1. 15	10. 00	23	9. 45	231
57	2. 8	0. 00	23	4. 30	232
57	2. 26	23. 00	23	18. 15	196
57	2. 27	0. 00 / 1. 00 / 2. 00	23	8. 10	207
57	9. 7	20. 00	23	22. 30	304*
53	1. 11	23. 00	22	7. 55	237
53	11. 11	0. 00	22	14. 10	250
55	1. 15	14. 00	22	15. 30	235
55	3. 3	4. 00	22	7. 00	242
55	4. 9	19. 00	22	0. 30	254

Year	Month & day	Time h. m.	Sea level departure cm	Time h. m.	Highest sea level cm
1955	5. 4	6.00	22	9.30	245
55	9.29	22.00	22	21.45	272
56	2. 9	0.00	22	10.30	249
56	2.28	22.00	22	12.50	252
56	3. 7	11.00	22	8.10	231
56	3.25	11.00	22	10.35	263
57	2.30	{12.00 13.00 14.00	22	10.55	247
57	3.11	12.00	22	7.15	242
57	6. 7	1.00	22	6.10	266
57	8.24	11.00	22	22.45	296*
52	10.15	{10.00 22.00	21	21.15	272
53	11.10	23.00	21	13.35	276
53	11.18	21.00	21	20.30	257
53	12. 9	22.00	21	13.25	266
54	6. 2	6.00	21	0.05	289*
54	12. 8	10.00	21	9.55	287*
55	1. 9	23.00	21	12.30	275
55	2. 1	0.00	21	5.45	227
55	11.15	22.00	21	12.00	264
56	1. 6	15.00	21	17.00	228
56	3.11	23.00	21	11.15	230
57	2. 7	21.00	21	15.10	245

Year	Month & day	Time h. m.	Sea level departure cm	Time h. m.	Highest sea level cm
1952	10.16	0.00	20	21.40	260
53	2.21	12.00	20	5.15	212
53	3.25	22.00	20	8.30	245
53	4.29	23.00	20	23.50	269
53	11.22	14.00	20	12.20	280
53	11.27	1.00	20	16.00	250
53	11.28	21.00	20	17.00	235
54	3.11	13.00	20	4.00	235
54	3.21	8.00	20	12.00	233
54	5.15	0.00	20	22.25	237
54	6. 6	16.00	20	2.45	272
54	9.18	11.00	20	15.30	277
54	12.19	12.00	20	18.20	225
55	3.12	23.00	20	1.00	239
55	5.20	11.00	20	22.35	276
56	2. 7	12.00	20	9.30	239
56	4. 1	10.00	20	2.50	262
56	5. 6	{0.00 7.00	20	7.35	2.51
56	6. 7	19.00	20	22.20	282*
56	9. 9	23.00	20	14.15	292*
56	9.25	23.00	20	14.30	266
56	10. 9	6.00	20	14.35	271
57	5. 5	12.00	20	2.45	272

*The sea level reaches above the mean high water springs of "Uno" (=281cm). 28 times in total during 1952～56.

**The sea level reaches over50cm above the level of 331cm. Twice in total during the same period.

Tidal Station "Takamatsu" (34°21′N, 134°03′E)

Year	Month & day	Time h. m.	Sea level departure cm	Time h. m.	Highest sea level cm
1954	9.26	9.00	102	11.17	367**
54	9.14	6.00	76	11.43	348**
56	8.17	13.00	76	21.00	291
55	9.30	13.00	71	10.15	322*
54	9.13	23.00	64	23.20	354**
54	8.18	21.00	56	13.40	331*
55	7.14	7.00	50	19.00	269
54	8.19	2.00	49	1.44	340*
56	9.10	12.00	47	14.35	314*
55	10. 4	12.00	46	12.20	322*
56	4.20	2.00	46	7.15	259
55	7.12	5.00	43	3.10	274
53	4.30	12.00	41	11.20	271
53	6. 7	19.00	41	19.25	306*
53	5.29	13.00	38	10.45	282
57	3. 8	13.00	36	14.15	257
53	1.12	18.00	34	9.00	293
56	1,28	14.00	34	12.10	302*
56	4. 8	12.00	34	9.55	270
57	9. 7	20.00	34	22.30	318*
54	4.12	10.00	33	7.30	291
55	11.16	12.00	33	12.20	309*
52	10.11	12.00	32	17.16	275
53	1. 7	13.00	32	15.40	282

Year	Month & day	Time h. m.	Sea level departure cm	Time h. m.	Highest sea level cm
1955	3.18	10.00	32	7.05	267
53	3.20	14.00	31	2.34	260
53	9.25	{10.00 11.00 13.00	31	12.52	340*
56	2.28	22.00	31	12.40	269
56	3.29	11.00	31	0.50	272
56	4.19	23.00	31	6.30	265
57	2. 3	14.00	31	13.30	279
56	5.10	{20.00 21.00	30	23.35	308*
53	1.21	7.00	29	15.10	262
55	4.17	10.00	29	7.15	279
56	10.11	{8.00 11.00	29	16.13	275
54	5. 9	{13.00 17.00	28	4.40	278
55	3.13	9.00	28	1.50	270
55	4.25	0.00	28	0.55	310*
55	11.21	11.00	28	15.25	300*
56	3.17	1.00	28	2.00	280
56	8.24	11.00	28	0.55	302*
56	12. 4	14.00	28	12.45	302*
57	5. 5	14.00	28	2.50	293
54	11.28	{11.00 12.00	27	9.03	290
53	3.11	19.00	27	8.23	270
54	9. 8	6.00	27	20.47	280

Year	Month & day	Time (h. m.)	Sea level departure (cm)	Time (h. m.)	Highest sea level (cm)
1957	2. 7	12.00	27	15.00	266
57	6.27	20.00, 21.00	27	23.15	331*
53	5. 7	22.00	26	5.50	278
53	11. 4	8.00	26	9.50	274
54	4.18	2.00, 11.00	26	0.00	285
54	9.18	11.00	26	15.20	298*
55	1.17	15.00, 16.00	26	6.35	234
55	1.10	1.00	26	12.55	288
55	2.20	8.00, 9.00	26	10.00	285
55	4.24	22.00, 23.00	26	0.05	294
56	4.25	12.00, 13.00, 15.00	26	23.00	284
56	10.29	21.00	26	19.50	285
52	10.22	10.00	25	13.20	311
53	12. 9	23.00	25	13.30	284
54	9.19	7.00	25	16.55	271
55	1.20	12.00	25	9.45	278
55	2.27	14.00	25	13.55	274
56	3.16	14.00, 15.00, 23.00	25	13.15	265
56	4.23	10.00, 12.00	25	22.35	285
57	1.15	0.00, 2.00	25	10.30	292
57	1.30	10.00	25	11.30	289
53	1.28	23.00	24	11.20	282
55	2.28	0.00	24	3.05	276
55	12.16	1.00	24	12.55	277
56	2. 8	22.00, 23.00	24	10.10	269
56	2. 9	0.00	24	10.30	270
56	5. 2	3.00	24	4.25	288
56	6.23	18.00	24	0.00	317*
53	1.22	13.00	23	15.40	256
53	9. 2	0.00	23	18.00	299*
53	12.10	0.00, 11.00	23	13.50	295
54	3.28	15.00	23	5.34	256
55	2.15	13.00, 14.00	23	5.20	238
55	9.29	23.00	23	22.05	295
55	12.15	23.00	23	12.15	286
55	12.21	1.00	23	15.30	271
56	3.12	0.00	23	11.20	258
57	7.28	2.00	23	0.05	332*
53	3.19	22.00	22	1.39	256
53	11. 6	10.00	22	11.18	288
54	1.24	14.00	22	14.18	299*

Year	Month & day	Time (h. m.)	Sea level departure (cm)	Time (h. m.)	Highest sea level (cm)
1954	2.27	23.00	22	6.18	215
54	12. 8	13.00	22	10.05	306*
55	1. 9	23.00	22	12.25	297*
55	2.19	22.00, 23.00	22	10.00	267
55	3.28	11.00, 12.00, 13.00	22	2.00	277
56	1. 7	14.00	22	7.40	254
56	3.11	23.00	22	11.10	250
56	6.12	11.00, 12.00	22	1.55	310*
57	1.14	23.00	22	10.15	267
57	2. 8	1.00	22	4.30	256
57	3.11	10.00	22	7.10	268
53	1.11	22.00, 23.00	21	8.13	257
53	2.21	14.00	21	5.00	238
53	3.25	23.00	21	8.40	268
53	3.26	6.00	21	9.30	248
53	4.29	23.00	21	23.50	290
54	1.10	12.00	21	14.54	297*
54	4. 6	10.00	21	0.51	285
54	6. 2	8.00, 12.00	21	0.10	306*
54	8.26	1.00	21	22.35	293
54	9.28	9.00, 10.00	21	11.30	294
55	5. 3	23.00	21	21.50	268
55	5. 4	0.00	21	9.30	266
55	11.15	23.00	21	11.50	286
56	10.30	11.00	21	20.40	297*
57	1.26	23.00	21	9.00	250
57	1.27	0.00, 1.00	21	9.50	269
52	10.15	10.00, 11.00, 22.00	20	21.40	289
52	11.12	12.00	20	19.20	262
52	12. 2	11.00, 13.00	20	12.00	314*
53	1. 8	5.00	20	16.00	242
53	6. 8	11.00	20	21.20	287
55	1.15	15.00, 16.00	20	15.35	261
55	4. 3	11.00	20	9.00	281
55	10.20	11.00, 12.00	20	13.50	274
55	12.20	23.00	20	14.50	274
56	3. 7	12.00	20	8.30	255
56	5. 6	7.00	20	8.00	270
57	6. 7	1.00	20	6.10	292
57	8.24	10.00	20	22.50	318*

*The sea level reaches above the mean high water springs of "Takamatsu" (= 296 cm). 32 times in total during 1952~56.

**The sea level reaches over 50 cm above the level of 346 cm. Three times in total during the same period.

Tidal Station "Matsuyama" (33°52′N, 132°43′E)

Year	Month & day	Time h. m.	Sea level departure cm	Time h. m.	Highest sea level cm
1954	9. 26	7. 00	118	7. 12	459**
55	9. 30	9. 00	92	7. 55	454**
54	9. 14	0. 00	83	9. 44	421*
56	8. 17	10. 00	79	19. 33	344
54	9. 13	23. 00	78	21. 40	475**
55	10. 4	8. 00	65	9. 53	433*
56	9. 10	9. 00	48	12. 15	363
53	5. 29	10. 00	47	22. 04	384
54	9. 8	3. 00	44	19. 10	321
56	4. 19	21. 00	39	4. 08	326
53	1. 7	11. 00	38	12. 58	355
53	4. 30	8. 00	38	9. 14	371
53	3. 20	10. 00	37	0. 14	357
53	12. 1	22. 00	37	17. 32	295
54	3. 31	9. 00	37	7. 10	332
57	3. 8	11. 00	36	12. 18	339
54	8. 18	9. 00	35	11. 15	422*
56	4. 8	10. 00	35	7. 29	352
52	10. 11	9. 00	34	15. 19	308
56	1. 18	11. 00	33	12. 10	356
56	1. 18	9. 00	33	9. 46	416*
56	1. 18	10. 00	33	9. 46	416*
56	1. 18	11. 00	33	9. 46	416*
56	1. 28	12. 00	33	9. 46	416*
56	9. 9	23. 00	33	23. 45	393*
53	6. 7	13. 00	32	17. 35	347
57	2. 3	11. 00	32	11. 05	376
55	11. 16	8. 00	31	10. 02	386
53	3. 11	11. 00	30	6. 32	327
54	5. 20	2. 00	30	23. 05	383
57	9. 7	8. 00	30	{7. 51 / 20. 27}	380
57	9. 7	9. 00	30	//	380
54	1. 24	13. 00	29	12. 10	385
55	2. 27	11. 00	29	11. 43	378
56	4. 20	0. 00	29	5. 25	325
54	2. 27	21. 00	28	3. 54	286
55	1. 9	23. 00	28	9. 51	398*
57	1. 30	9. 00	28	9. 13	383*
57	2. 7	10. 00	28	13. 00	343
53	1. 12	8. 00	27	7. 25	355
55	3. 18	10. 00	27	4. 43	298
55	9. 26	8. 00	27	17. 58	318
56	12. 4	12. 00	27	10. 30	394*
53	4. 25	10. 00	26	7. 01	322
54	4. 12	9. 00	26	5. 40	330
55	1. 20	9. 00	26	8. 03	327
56	3. 29	10. 00	26	10. 32	376
56	3. 29	11. 00	26	10. 32	376
56	3. 16	11. 00	26	23. 32	368
56	3. 16	22. 00	26	23. 32	368
57	6. 27	14. 00	26	21. 14	400*
53	5. 28	11. 00	25	21. 32	403*
53	12. 25	23. 00	25	12. 23	371
54	12. 8	9. 00	25	7. 28	391
55	3. 13	7. 00	25	11. 09	341
55	3. 17	23. 00	25	2. 56	283
55	4. 3	11. 00	25	6. 50	345
55	4. 24	20. 00	25	22. 44	406*

Year	Month & day	Time h. m.	Sea level departure cm	Time h. m.	Highest sea level cm
1955	11. 21	10. 00	25	12. 56	352
55	12. 15	22. 00	25	10. 00	376
56	1. 7	13. 00	25	5. 06	302
56	11. 29	20. 00	25	19. 06	354
57	1. 14	23. 00	25	8. 05	342
57	1. 15	0. 00	25	8. 35	378
52	10. 22	9. 00	24	10. 57	396*
52	11. 28	8. 00	24	6. 46	362
52	11. 28	10. 00	24	6. 46	362
54	2. 12	0. 00	24	5. 02	316
56	4. 25	9. 00	24	21. 40	390
56	4. 25	10. 00	24	21. 40	390
56	4. 25	11. 00	24	21. 40	390
56	8. 24	0. 00	24	22. 46	382
56	9. 27	0. 00	24	0. 23	338
53	11. 12	21. 00	23	18. 42	370
53	12. 9	22. 00	23	11. 42	379
53	12. 26	0. 00	23	13. 00	351
54	3. 11	11. 00	23	1. 15	329
54	3. 28	10. 00	23	3. 20	293
54	3. 28	11. 00	23	3. 20	293
56	2. 29	11. 00	23	10. 59	380
56	4. 23	8. 00	23	20. 10	380
56	6. 12	9. 00	23	11. 03	370
56	10. 11	9. 00	23	13. 50	318
57	2. 9	12. 00	23	3. 35	301
57	2. 9	13. 00	23	3. 35	301
53	4. 29	21. 00	22	21. 39	386
54	2. 11	23. 00	22	3. 06	294
54	4. 18	8. 00	22	21. 43	373
54	4. 30	9. 00	22	19. 24	352
54	6. 2	1. 00	22	22. 29	401*
54	6. 2	7. 00	22	22. 29	401*
55	2. 15	10. 00	22	13. 32	289
55	3. 20	10. 00	22	7. 17	322
56	8. 23	23. 00	22	22. 17	396*
56	8. 27	10. 00	22	12. 20	368
57	1. 18	12. 00	22	10. 34	400*
57	1. 26	21. 00	22	7. 00	300
57	5. 12	7. 00	22	20. 20	386
57	6. 6	11. 00	22	3. 10	366
57	9. 6	23. 00	22	20. 12	380
57	9. 11	21. 00	22	22. 15	388
52	12. 2	{11. 00 / 12. 00}	21	9. 44	399*
53	2. 21	{11. 00 / 12. 00}	21	2. 33	298
53	3. 25	22. 00	21	6. 42	318
54	5. 14	{8. 00 / 21. 00}	21	19. 43	335
54	10. 20	20. 00	21	16. 53	342
55	1. 17	13. 00	21	14. 46	290
55	3. 28	10. 00	21	11. 16	359
55	5. 3	{21. 00 / 22. 00}	21	19. 29	340
55	5. 4	8. 00	21	20. 05	347
55	8. 25	12. 00	21	0. 52	324
55	11. 15	22. 00	21	9. 32	374
56	5. 1	{22. 00 / 23. 00}	21	0. 46	335
57	8. 21	9. 00	21	18. 26	360

Year	Month & day	Time h. m.	Sea level departure cm	Time h. m.	Highest sea level cm	Year	Month & day	Time h. m.	Sea level departure cm	Time h. m.	Highest sea level cm
1953	1.11	22.00	20	6.22	301	1955	4.30	21.00	20	3.59	317
53	3.22	3.00	20	2.00	297	55	11.20	22.00	20	12.34	340
53	5. 8	8.00	20	4.49	351	56	3.25	8.00	20	8.02	382
53	9.18	22.00	20	17.52	340	56	3. 7	10.00	20	6.39	292
54	4. 9	9.00	20	1.11	328	56	9.25	22.00	20	12.07	371
54	4.17	23.00	20	21.17	375	57	1.29	22.00	20	9.00	361
54	6. 6	12.00	20	0.43	361	57	5. 1	10.00	20	22.20	390
55	1.30	21.00	20	12.55	357	57	5. 5	9.00	20	0.16	371
55	2.20	9.00	20	8.06	362	57	5.25	8.00	20	{5.44, 18.32}	328
55	3.12	23.00	20	23.22	359						

*The sea level reaches above the mean high water springs of "Matsuyama" (=393cm). 22 times in total during 1952～56.

**The sea level reaches over 50cm above the level of 443cm. Three times in total during the same period.

Tidal Station "Kure" (34°14′N, 132°33′E)

Year	Month & day	Time h. m.	Sea level departure cm	Time h. m.	Highest sea level cm	Year	Month & day	Time h. m.	Sea level departure cm	Time h. m.	Highest sea level cm
1954	9.26	8.00	114	8.26	514**	1953	3.25	23.00	30	7.09	353
54	9.14	3.00	100	10.25	452*	55	1. 9	13.00	30	10.35	440*
55	9.30	11.00	98	9.05	508**	55	2.27	{12.00, 13.00}	30	12.40	410
54	9.13	23.00	79	22.30	510*	55	11.16	8.00	30	10.38	423
54	9. 8	3.00	76	19.22	353	56	3.16	12.00	30	11.45	408
55	10. 4	10.00	64	10.45	477*	56	4.20	0.00	30	6.00	357
55	9.15	18.00	53	21.00	424	53	6. 5	9.00	29	3.32	407
56	5.26	8.00	49	23.28	415	54	2.12	10.00	29	5.30	344
54	9.28	7.00	44	10.30	435*	55	9.19	22.00	29	11.30	409
53	4.30	8.00	42	22.58	414	55	12.15	{22.00, 23.00}	29	10.35	417
53	6. 7	14.00	42	18.32	396	55	12.16	0.00	29	11.09	403
52	10.11	8.00	41	15.39	348	56	4.25	7.00	29	22.30	429
53	1. 7	13.00	41	13.13	400	56	12. 4	11.00	29	11.05	435*
53	3.20	12.00	39	0.47	406	57	2. 9	12.00	29	3.58	339
54	2. 3	13.00	39	12.08	412	57	6.27	14.00	29	21.50	440*
54	2. 6	19.00	39	11.47	440*	53	1.12	9.00	28	7.40	386
57	3. 8	11.00	39	13.51	382	54	2.27	20.00	28	4.15	319
54	10.28	7.00	38	10.38	452*	54	4.12	9.00	28	5.42	360
55	9.17	20.00	38	22.35	423	54	5. 9	9.00	28	2.25	371
56	4.19	23.00	37	4.40	360	55	9.14	22.00	28	20.50	419
54	8.18	{12.00, 11.00}	35	12.00	458*	57	9.12	0.00	28	11.20	422
56	3.29	12.00	35	11.20	409	52	10.22	10.00	27	11.40	447*
57	9. 7	10.00	35	21.18	416	55	3.12	21.00	27	0.16	397
55	11.21	9.00	34	13.26	389	56	2.29	12.00	27	11.43	427
56	1.28	{9.00, 11.00}	34	10.38	465*	56	10. 9	9.00	27	12.50	401
57	1.30	{9.00, 10.00}	34	10.00	420	56	10.18	9.00	27	8.56	423
55	3.13	8.00	33	12.00	380	52	11.28	10.00	26	7.27	404
56	6.30	22.00	33	1.45	389	53	1.11	20.00	26	6.37	342
57	3.30	19.00	33	—	—	53	12.11	9.00	26	13.10	410
56	4. 8	12.00	32	8.17	388	54	1.24	{10.00, 12.00}	26	12.50	420
56	9.10	11.00	32	0.55	373	54	3.11	12.00	26	2.00	370
57	2. 7	22.00	32	13.48	384	54	6. 2	9.00	26	23.12	441*
53	5.29	{6.00, 8.00, 9.00}	31	22.50	432	55	1.17	14.00	26	15.15	317
55	1.30	20.00	31	13.36	396	55	3.17	23.00	26	3.20	317
55	3. 1	11.00	31	2.14	359	55	11.15	22.00	26	10.10	413
53	3.11	12.00	30	7.12	368	56	4.23	{6.00, 10.00}	26	21.10	418

Year	Month & day	Time h. m.	Sea level departure cm	Time h. m.	Highest sea level cm
1956	8.24	0.00	26	23.40	432
57	1.15	1.00	26	9.17	417
57	3. 4	20.00, 21.00	26	11.19, 23.31	412
57	8.21	10.00, 11.00	26	18.44	396
54	3.28	11.00	25	3.33	320
54	4.18	7.00, 10.00	25	22.18	408
54	4.20	0.00	25	23.23	395
55	5.20	5.00	25	20.50	418
56	2.28	19.00	25	11.43	427
56	7. 3	0.00	25	17.31	355
56	11.29	21.00	25	19.40	387
57	3.31	7.00	25	22.03	400
53	9.23	10.00	24	9.42	461*
53	9.25	12.00	24	11.05	481*
54	2.11	23.00	24	3.27	327
54	6. 6	13.00	24	1.07	401
55	4.24	11.00	24	23.42	448*
55	8.23	4.00	24	0.35	402
56	3.25	22.00	24	9.05	421
56	5.10	19.00	24	22.10	442*
56	6.23	21.00	24	22.32	432
56	8.23	23.00	24	23.15	448*
56	8.27	12.00	24	13.04	417
56	9.25	22.00	24	12.53	415
57	3. 5	8.00	24	11.49	399
57	6. 6	11.00	24	3.50	403
52	10.15	9.00	23	20.03	398
52	12. 2	8.00	23	10.25	446*
53	2.21	13.00	23	3.08	345
53	5.28	21.00, 22.00	23	22.00	450*
53	11.18	20.00	23	19.20	406
54	9.18	0.00	23	13.38	405
54	10. 3	12.00	23	13.13	386
55	2.20	0.00	23	8.38	390
56	1.10	23.00	23	8.49	362
56	1.19	0.00	23	13.20	384
56	5. 1	22.00	23	1.27	373
56	10.11	9.00	23	14.30	351
57	2.12	10.00	23	8.27	393
57	2.16	13.00	23	11.21	448*
57	7.27	1.00	23	22.10	464*
53	8.27	12.00	22	11.15	461*
53	12. 9	21.00	22	11.40	417
54	4.17	22.00	22	21.58	412
54	11.25	10.00	22	9.50	422
55	1.20	10.00	22	8.22	352
55	3. 9	9.00	22	10.25	412
55	3.28	11.00, 12.00	22	0.25	414
55	4.17	6.00	22	5.33	361
55	4.25	0.00	22	11.20	381

Year	Month & day	Time h. m.	Sea level departure cm	Time h. m.	Highest sea level cm
1955	7.17	0.00	22	20.30	414
56	5. 2	10.00	22	2.13	379
57	1.14	23.00	22	8.32	380
57	3.27	21.00	22	8.02	358
57	3.11	11.00	22	5.02	352
57	5.12	6.00	22	21.10	426
52	12. 9	12.00	21	14.44	374
53	2.17	0.00	21	12.08	435*
53	6.23	4.00	21	19.26	390
53	12.26	0.00, 0.00	21	13.27	388
54	5.14	21.00	21	20.00	370
55	1.15	14.00	21	13.58	370
55	2. 4	0.00	21	8.00	397
55	3.24	23.00	21	22.20	421
55	6.19	6.00	21	21.39	446*
55	11.20	21.00	21	13.10	377
55	12.21	10.00	21	14.02	377
56	1. 6	14.00	21	15.42	345
56	1.13	10.00, 11.00	21	10.24	410
56	1.23	10.00	21	5.34	360
56	3.11	19.00	21	9.25	380
56	3.18	21.00	21	1.18	380
56	6.12	10.00	21	0.13	445*
56	11. 5	8.00	21	11.25	433
56	12. 9	13.00	21	14.02	372
57	5. 1	10.00	21	23.10	432
57	5. 5	8.00	21	13.00	356
57	9. 6	21.00, 22.00	21	20.45	422
53	3. 7	12.00, 21.00, 22.00	20	1.14	370
53	10.28	9.00	20	14.00	390
53	12.25	21.00	20	12.59	413
54	1.27	13.00	20	14.00	347
54	2. 2	18.00	20	9.25	403
54	2. 8	12.00	20	13.00	408
54	2.16	10.00	20	9.40	395
54	3. 6	11.00	20	10.50	428
54	3.17	22.00	20	9.03	379
54	12.14	12.00	20	12.52	420
55	5. 4	7.00	20	20.50	383
55	10.19	23.00	20	11.36	411
55	10.28	23.00	20	19.41	397
56	1. 7	12.00	20	5.33	329
56	3. 7	11.00, 12.00	20	6.53	328
56	10.19	0.00	20	9.30	428
56	10.21	2.00, 11.00	20	10.40	441*
57	2.10	0.00	20	6.06	344
57	2.15	18.00	20	10.20	443*
57	4. 5	23.00	20	0.46	385
52	11. 9	2.00	20	14.50	360

*The sea level reaches above the mean high water springs of "Kure" (=435cm). 30 times in total during 1952~56.

**The sea level reaches over 50 cm above the level of 485 cm. Three times in total during the same period.

Appendix Table 2. Harmonic and non-harmonic constants of the stations located in the Seto Inland Sea and Tosa-wan

Station	HII 比井		SHIMOTSU 下津		KISHIWADA 岸和田		KARUMO ZIMA 苅藻島		MAIKO 舞子	
	N 33°55′		N 34°07′		N 34°28′		N 34°39′		N 34°38′	
	E 135°06′		E 135°08′		E 135°22′		E 135°10′		E 135°02′	
	h		h		h		h		h	
M. H. W. I.	6 14		6 23		7 15		7 23		7 56	
	M		M		M		M		M	
Spring range	1 36		1 34.8		1 00		0 98		0 59.2	
Neap range	0 48		0 47.6		0 28		0 30		0 12.8	
Mean range	0 92		0 91.2		0 64		0 64		0 36.0	
Mean sea level	1 06		1 09.8		0 98		0 97		0 77.2	
Spring rise	1 74		1 77.2		1 48		1 46		1 06.8	
Neap rise	1 30		1 33.6		1 12		1 12		0 83.6	
Diurnal inequality	0.56		0.63		0.96		0.98		1.16	
	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°
M_2	46	181	45.6	185.0	32	210	32	214	18.0	229.9
S_2	22	203	21.8	208.1	18	223	17	229	11.6	225.1
ν_2	•	•	1.6	181.8	•	•	•	•	•	•
K_1	21	190	24.2	191.4	28	205	27	205	25.3	212.8
O_1	17	172	18.2	171.0	20	180	21	180	22.3	192.1
P_1	•	•	7.7	191.1	9	205	•	•	8.4	212.8
M_4	•	•	0.3	7.1	•	•	•	•	2.7	275.3
N_2	•	•	8.1	179.6	•	•	•	•	•	•
K_2	•	•	5.9	204.5	5	223	•	•	3.2	225.1
μ_2	•	•	2.6	159.9	•	•	•	•	4.5	148.2
Q_1	•	•	4.2	159.6	•	•	•	•	•	•
L_2	•	•	0.5	216.5	•	•	•	•	•	•
MS_4	•	•	•	•	•	•	•	•	1.4	289.3
Ssa	•	•	5.2	73.0	•	•	•	•		
Sa	•	•	15.2	141.2	•	•	•	•		

Station	IWAYA 岩屋		AKASHI 明石		EZAKI 江崎		TOSHIMA 富島		MUROTSU 室津	
	N 34°35′		N 34°39′		N 34°36′		N 34°23′		N 34°32′	
	E 135°01′		E 135°00′		E 134°59′		E 134°56′		E 134°52′	
	h		h		h		h		h	
M. H. W. I.	7 37		8 17		8 17		10 38		11 34	
	M		M		M		M		M	
Spring range	0 61.4		0 50.4		0 45.7		0 39.0		0 60	
Neap range	0 16.6		0 13.2		0 07.6		0 18.6		0 28	
Mean range	0 39.0		0 31.8		0 26.4		0 28.8		0 44	
Mean sea level	0 80.0		0 65.5		0 68.2		0 66.8		0 79	
Spring rise	1 10.7		0 90.7		0 91.3		0 86.3		1 09	
Neap rise	0 88.3		0 72.1		0 72.0		0 76.1		0 93	
Diurnal inequality	1.61		1.60		2.02		2.43		1.63	
	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°
M_2	19.5	220.9	15.9	240.3	13.2	239.9	14.4	308.4	22	335
S_2	11.2	227.2	9.3	236.6	9.4	235.4	5.1	257.5	8	286
ν_2	0.7	220.6	1.0	296.3	1.2	344.4	1.0	289.3	•	•
K_1	28.0	217.8	23.6	216.4	25.4	221.7	25.6	223.2	26	228
O_1	21.3	200.0	16.7	201.3	20.2	202.6	21.7	234.6	23	206
P_1	9.3	217.8	7.6	211.0	8.7	222.2	8.6	223.2	•	•
M_4	5.9	276.5	0.6	300.0	5.0	279.5	1.8	348.8	•	•
N_2	3.7	220.6	3.8	232.2	3.3	227.4	3.0	289.3	•	•
K_2	3.0	227.2	2.8	242.6	2.3	243.5	1.4	257.5	•	•
μ_2	5.3	167.3	4.5	159.0	5.2	164.6	5.8	169.6	•	•
Q_1	2.7	184.5	3.3	190.9	4.3	188.7	4.1	179.8	•	•
L_2	0.7	0.5	0.5	119.7	0.7	338.5	2.3	54.6	•	•
MS_4	4.6	296.8	0.2	318.7	3.7	298.2	0.6	4.6	•	•
Ssa	•	•	4.5	15.6	4.8	333.0	•	•	•	•
Sa	•	•	15.5	126.5	17.3	152.2	•	•	•	•

EI		AZIRO		TOSADOMARI		DŌNOURA		KITADOMA-RIURA		HIKITA	
江井		網代		土佐泊		堂ノ浦		北泊浦		引田	
N 34°28′		N 34°14′		N 34°11′		N 34°13′		N 34°14′		N 34°14′	
E 134°49′		E 134°38′		E 134°38′		E 134°35′		E 134°35′		E 134°24′	
h		h		h		h		h		h	
11 34		12 07		7 04		7 34		9 19		11 30	
M		M		M		M		M		M	
0 61.2		0 90		1 06		0 92		0 54		0 90.4	
0 38.8		0 27		0 30		0 24		0 18		0 26.4	
0 50.0		0 72		0 68		0 58		0 36		0 71.6	
0 78.6		0 92		0 93		0 88		0 73		0 94.3	
1 09.2		1 37		1 46		1 34		1 00		1 39.9	
0 98.0		1 19		1 08		1 00		0 82		1 21.1	
1.57		1.04		0.75		0.91		1.70		1.10	
H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°
25.0	335.0	36	351	34	205	29	219	18	270	35.8	333.2
5.6	326.0	9	340	19	225	17	232	9	260	9.4	340.1
1.8	355.0	•	•	•	•	•	•	•	•	1.8	338.6
27.6	230.9	27	233	23	228	24	205	26	237	28.8	231.2
20.4	206.6	20	215	17	187	18	194	20	195	20.7	205.1
7.3	239.2	•	•	•	•	•	•	•	•	8.2	235.8
0.8	88.0	•	•	•	•	•	•	•	•	1.2	106.2
4.3	309.6	•	•	•	•	•	•	•	•	6.1	312.0
1.8	345.7	•	•	•	•	•	•	•	•	3.1	341.0
5.3	170.4	•	•	•	•	•	•	•	•	6.1	165.7
3.9	196.4	•	•	•	•	•	•	•	•	4.1	194.9
2.8	6.7	•	•	•	•	•	•	•	•	3.7	3.1
0.6	11.8	•	•	•	•	•	•	•	•	0.6	348.2
3.4	327.3	•	•	•	•	•	•	•	•	3.6	337.7
18.2	147.3	•	•	•	•	•	•	•	•	18.2	137.1

SAKATE		ZIZO-SAKI		IKEDAWAN		IESHIMA		TOMOGASHI-MA		ANAGAURA	
坂手		地蔵崎		池田湾		家島		友ヶ島		阿那賀浦	
N 34°27′		N 34°26′		N 34°29′		N 34°41′		N 34°17′		N 34°16′	
E 134°19′		E 134°16′		E 134°12′		E 134°32′		E 135°00′		E 134°40′	
h		h		h		h		h		h	
11 11		10 58		11 02		1 100		6 38		11 45	
M		M		M		M		M		M	
0 98.6		1 28		1 32		0 79.6		1 17.2		0 80.4	
0 55.4		0 68		0 68		0 45.2		0 38.0		0 49.2	
0 77.0		0 98		1 00		0 62.4		0 77.6		0 64.8	
0 99.8		1 15		1 19		0 88.6		1 02.5		0 91.0	
1 49.1		1 79		1 85		1 28.4		1 61.2		1 31.2	
1 27.5		1 49		1 53		1 11.2		1 21.6		1 15.6	
1.02		0.80		0.80		1.23		0.75		1.26	
H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°
38.5	324.4	49	318	50	320	31.2	318.8	38.8	192.5	32.4	340.6
10.8	331.0	15	336	16	331	8.6	318.2	19.8	215.4	7.8	351.5
2.6	351.1	•	•	•	•	1.5	355.8	2.1	183.9	1.5	346.3
29.1	228.5	31	234	32	231	28.2	226.6	25.3	201.1	29.1	231.4
21.4	202.8	20	196	21	200	20.6	200.7	18.7	181.9	21.7	204.1
7.9	232.0	10	234	•	•	7.5	228.8	8.4	204.2	8.0	232.2
0.9	98.5	•	•	•	•	1.2	85.8	1.8	231.0	1.1	159.2
6.4	300.3	•	•	•	•	5.6	297.8	4.0	188.1	5.3	320.9
3.8	340.2	4	336	•	•	3.0	327.6	5.7	212.0	2.5	354.1
5.9	161.2	•	•	•	•	5.5	156.6	7.7	166.7	5.6	166.8
4.0	191.4	•	•	•	•	3.8	190.0	4.0	169.9	4.2	194.8
3.3	4.5	•	•	•	•	3.2	345.6	0.7	85.8	2.4	1.5
0.6	318.8	•	•	•	•	0.4	340.0	•	•	•	•
4.9	349.7	•	•	•	•	4.0	352.4	6.0	228.9	•	•
17.6	145.1	•	•	•	•	18.2	145.4	19.4	316.4	•	•

Station	YURA 由良		FUKURAURA 福良浦		MAGO-SAKI 孫崎		TACHIBANA-URA 橘浦		TAKASAGO 高砂	
	N 34°16′		N 34°15′		N 34°14′		N 33°52′		N 34°45′	
	E 134°57′		E 134°42′		E 134°39′		E 134°39′		E 134°49′	
	h		h		h		h		h	
M. H. W. I.	6 34		6 32		11 23		6 00		10 46	
	M		M		M		M		M	
Spring range	0 99.8		1 30.4		0 74		1 34		0 70	
Neap range	0 31.8		0 46.4		0 50		0 50		0 38	
Mean range	0 65.8		0 88.4		0 62		0 92		0 54	
Mean sea level	0 90.7		1 05.8		0 88		1 05		0 87	
Spring rise	1 40.6		1 71.0		1 25		1 72		1 22	
Neap rise	1 06.6		1 29.0		1 13		1 30		1 06	
Diurnal inequality	0.82		0.62		1.38		0.57		1.49	
	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°
M_2	32.9	190.5	44.2	189.6	31	330	46	174	27	312
S_2	17.0	214.3	21.0	211.5	6	347	21	205	8	300
ν_2	0.5	251.8	0.6	234.1	•	•	•	•	•	•
K_1	22.9	205.7	23.1	195.2	27	270	21	191	29	222
O_1	17.9	182.3	17.5	171.8	24	198	17	174	23	197
P_1	6.7	201.4	7.0	190.4	•	•	•	•	•	•
M_4	0.5	328.5	0.7	193.2	•	•	•	•	•	•
N_2	6.2	183.0	8.4	181.6	•	•	•	•	•	•
K_2	4.4	211.0	5.7	205.2	•	•	•	•	•	•
μ_2	3.5	176.9	2.5	143.4	•	•	•	•	•	•
Q_1	3.5	174.2	3.5	165.2	•	•	•	•	•	•
L_2	0.7	62.2	1.5	197.6	•	•	•	•	•	•
MS_4	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Ssa	4.7	349.1	•	•	•	•	•	•	•	•
Sa	19.4	128.1	•	•	•	•	•	•	•	•

Station	SHIKAMA 飾磨		HIROHATA 広畑		AIOI-URA 相生浦		ŌTABUZIMA 大多府島		USHIMADO 牛窓	
	N 34°47′		N 34°47′		N 34°47′		N 34°41′		N 34°35′	
	E 134°41′		E 134°37′		E 134°28′		E 134°18′		E 134°06′	
	h		h		h		h		h	
M. H. W. I.	11 02		11 07		10 54		11 01		11 10	
	M		M		M		M		M	
Spring range	0 76		0 78		0 86		0 94		1 30	
Neap range	0 32		0 54		0 50		0 58		0 62	
Mean range	0 54		0 66		0 68		0 76		0 96	
Mean sea level	0 95		0 90		0 99		0 99		1 17	
Spring rise	1 33		1 29		1 42		1 46		1 82	
Neap rise	1 11		1 17		h 24		1 32		1 48	
Diurnal inequality	1.50		1.31		1.30		1.11		1.11	
	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°
M_2	27	320	33	322	34	316	38	319	48	324
S_2	11	306	6	312	9	322	9	304	17	333
ν_2	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
K_1	31	227	28	226	32	226	30	229	30	231
O_1	26	205	23	207	24	199	22	216	22	208
P_1	•	•	9	226	•	•	•	•	•	•
M_4	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
N_2	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
K_2	•	•	2	312	•	•	•	•	•	•
μ_2	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Q_1	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
L_2	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
MS_4	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Ssa	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Sa	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

NAOSHIMA 直島	OGISHIMA 男木島	SAKAIDE 坂出	NABESHIMA 鍋島	SHIMOTSUI 下津井	AWASHIMA 粟島
N 34°27′	N 34°26′	N 34°19′	N 34°23′	N 34°26′	N 34°16′
E 133°58′	E 134°03′	E 133°51′	E 133°49′	E 133°48′	E 133°38′
h	h	h	h	h	h
11 19	11 25	11 19	11 29	11 21	11 30
M	M	M	M	M	M
1 84	1 55.8	2 42	2 40	2 40	2 96.6
0 96	0 81.4	1 22	1 16	1 12	1 34.6
1 40	1 18.6	1 82	1 78	1 76	2 15.6
1 46	1 30.1	1 75	1 78	1 75	2 05.1
2 38	2 08.0	2 96	2 98	2 95	3 53.4
1 94	1 70.8	2 36	2 36	2 31	2 72.4
0.59	0.67	0.45	0.48	0.46	0.38
H cm κ°	H cm κ°	H cm κ°	H cm κ°	H cm κ°	H cm κ°
70 328	59.3 331.1	91 328	89 333	88 329	107.8 333.4
22 352	18.6 353.1	30 4	31 5	32 359	40.5 9.0
· ·	1.8 306.6	· ·	· ·	· ·	4.3 338.1
32 238	30.1 234.4	32 237	34 239	33 239	33.3 240.4
22 211	22.1 209.8	22 216	24 211	22 214	23.5 215.5
· ·	8.7 239.1	11 237	· ·	· ·	10.1 249.6
· ·	2.7 215.7	· ·	· ·	· ·	1.6 181.3
· ·	9.1 314.6	· ·	· ·	· ·	17.1 317.1
· ·	6.0 353.0	8 4	· ·	· ·	11.2 7.0
· ·	5.6 144.1	· ·	· ·	· ·	6.3 97.6
· ·	4.4 200.8	· ·	· ·	· ·	4.5 208.1
· ·	4.2 347.8	· ·	· ·	· ·	6.2 355.6
· ·	3.6 285.7	· ·	· ·	· ·	4.6 296.2
· ·	4.9 336.6	· ·	· ·	· ·	3.5 325.2
· ·	18.8 146.4	· ·	· ·	· ·	18.3 148.2

TOMONOTSU 鞆津	MISHIMA 三島	TAKIHAMA 多喜浜	NIIHAMA 新居浜	IMABARI 今治	KURUSHIMA 来島
N 34°23′	N 33°59′	N 33°59′	N 33°58′	N 34°04′	N 34°07′
E 133°22′	E 133°33′	E 133°21′	E 133°16′	E 133°00′	E 132°58′
h	h	h	h	h	h
11 17	10 50	11 11	11 01	10 52	9 58
M	M	M	M	M	M
3 00	3 14	3 10	2 98	2 78	2 98
1 32	1 34	1 34	1 50	1 30	1 34
2 16	2 24	2 22	2 24	2 04	2 16
2 11	2 16	2 11	1 99	1 95	2 04
3 61	3 73	3 66	3 48	3 34	3 53
2 77	2 83	2 78	2 74	2 60	2 71
0.41	0.38	0.36	0.34	0.40	0.37
H cm κ°	H cm κ°	H cm κ°	H cm κ°	H cm κ°	H cm κ°
108 327	112 314	111 324	112 319	102 315	108 289
42 6	45 356	44 355	37 351	37 347	41 328
· ·	· ·	· ·	· ·	· ·	· ·
36 236	33 227	35 240	31 235	33 238	32 225
25 208	26 297	21 210	19 197	23 212	23 201
· ·	11 227	· ·	10 235	· ·	· ·
· ·	· ·	· ·	· ·	· ·	· ·
· ·	· ·	· ·	· ·	· ·	· ·
· ·	12 356	· ·	10 351	· ·	· ·
· ·	16 4	· ·	· ·	· ·	· ·
· ·	· ·	· ·	· ·	· ·	· ·
· ·	· ·	· ·	· ·	· ·	· ·
· ·	1 334	· ·	· ·	· ·	· ·
· ·	· ·	· ·	· ·	· ·	· ·
· ·	· ·	· ·	· ·	· ·	· ·

Station	HASHIHAMA 波止浜		TSURESHIMA 連島		KASAOKA 笠岡		DOSHŌ 土生		TACHIBANA 立花	
	N 34°07′		N 34°31′		N 34°31′		N 34°16′		N 34°21′	
	E 132°58′		E 133°45′		E 133°31′		E 133°12′		E 133°12′	
	h		h		h		h		h	
M. H. W. I.	10 14		11 34		11 21		11 11		11 11	
	M		M		M		M		M	
Spring range	3 00.8		2 70		3 04		2 90		2 88	
Neap range	1 33.2		1 30		1 32		1 30		1 32	
Mean range	2 17.0		2 00		2 18		2 10		2 10	
Mean sea level	2 06.5		1 90		2 08		2 03		2 04	
Spring rise	3 56.9		3 25		3 60		3 48		3 48	
Neap rise	2 73.1		2 55		2 74		2 68		2 70	
Diurnal inequality	0.37		0.41		0.37		0.40		0.42	
	H cm	$\kappa°$	H cm	$\kappa°$	H cm	$\kappa°$	H cm	$\kappa°$	H cm	$\kappa°$
M_2	108.5	296.4	100	335	109	329	105	324	105	324
S_2	41.9	327.0	35	9	43	4	40	356	39	356
ν_2	1.6	283.2	3	325	4	318	•	•	•	•
K_1	32.2	222.7	33	240	33	217	36	243	35	241
O_1	23.9	200.7	22	221	23	217	22	208	25	210
P_1	9.3	224.0	11	240	11	217	12	243	•	•
M_4	0.8	351.0	4	227	2	176	•	•	•	•
N_2	18.1	280.4	17	325	19	318	•	•	•	•
K_2	11.9	325.7	10	9	12	4	11	356	•	•
μ_2	2.7	59.7	6	94	8	84	•	•	•	•
Q_1	4.8	187.7	5	215	5	318	•	•	•	•
L_2	3.8	318.7	6	326	11	336	•	•	•	•
MS_4	3.5	288.3	4	267	2	219	•	•	•	•
Ssa	3.3	314.1	•	•	•	•	•	•	•	•
Sa	17.3	151.8	•	•	•	•	•	•	•	•

Station	ONOMICHI-SETO 尾道瀬戸		KOSAKI-SHIMA 小佐木島		TADANOUMI 忠海		SETODA 瀬戸田		MITARAI 御手洗	
	N 34°24′		N 34°22′		N 34°20′		N 34°18′		N 34°11′	
	E 133°12′		E 133°06′		E 133°00′		E 133°05′		E 132°52′	
	h		h		h		h		h	
M. H. W. I.	11 02		10 52		10 17		10 35		9 56	
	M		M		M		M		M	
Spring range	2 96		2 86		3 06		2 86		3 02	
Neap range	1 36		1 26		1 30		1 38		1 30	
Mean range	2 16		2 06		2 18		2 12		2 16	
Mean sea level	2 06		2 01		2 13		1 95		2 07	
Spring rise	3 54		3 44		3 66		3 38		3 58	
Neap rise	2 74		2 64		2 78		2 64		2 72	
Diurnal inequality	0.39		0.41		0.42		0.36		0.37	
	H cm	$\kappa°$	H cm	$\kappa°$	H cm	$\kappa°$	H cm	$\kappa°$	H cm	$\kappa°$
M_2	108	320	103	315	109	298	106	307	108	288
S_2	40	355	40	347	44	328	37	343	43	317
ν_2	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
K_1	35	238	35	239	36	224	28	237	34	217
O_1	23	205	23	204	24	198	24	206	22	201
P_1	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
M_4	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
N_2	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
K_2	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
μ_2	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Q_1	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
L_2	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
MS_4	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Ssa	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Sa	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

KOYŌ 小用	KARŌUTO 鹿老渡	MINŌU 箕能	ETAUCHI 江田内	UZINA 宇品	ONDO-SETO 音戸瀬戸
N 34°14′	N 34°04′	N 34°15′	N 34°15′	N 34°21′	N 34°12′
E 132°43′	E 132°33′	E 132°23′	E 132°28′	E 132°28′	E 132°32′
h	h	h	h	h	h
10 01	9 31	9 25	9 35	9 34	9 40
M	M	M	M	M	M
2 64	2 58	2 78	2 84	2 88	2 56
1 08	1 02	98	1 12	1 20	1 12
1 86	1 80	1 88	1 98	2 04	1 84
1 82	1 83	1 86	1 95	1 97	1 81
3 14	3 12	3 25	3 37	3 41	3 09
2 36	2 34	2 35	2 51	2 57	2 37
0.38	0.42	0.34	0.37	0.37	0.41

H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°
93	290	90	276	94	273	99	278	102	277	92	280
39	328	39	307	45	316	43	311	42	304	36	307
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
30	219	213	29	29	210	29	211	31	219	30	217
20	208	194	18	18	192	24	192	22	196	23	196
•	•	•	•	•	•	10	198	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

MUROO 室尾	SAKIOKU 先奥	ETAJIMA 江田島	HIROSHIMA 広島	HAYASE-SETO 早瀬瀬戸	AGENOSHO 安下庄
N 34°06′	N 34°10′	N 34°14′	N 34°21′	N 34°09′	N 33°54′
E 132°33′	E 132°32′	E 132°28′	E 132°28′	E 132°29′	E 132°17′
h	h	h	h	h	h
9 34	9 38	9 38	9 46	9 34	8 56
M	M	M	M	M	M
2 64	2 78	2 92	2 76	2 62	2 46
1 12	1 22	1 20	1 16	1 06	98
1 88	2 00	2 06	1 96	1 84	1 72
1 86	1 94	2 00	1 83	1 86	1 49
3 18	3 33	3 46	3 21	3 17	2 46
2 42	2 55	2 60	2 41	2 39	1 98
0.41	0.40	0.37	0.33	0.42	0.21

H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°
94	277	100	279	103	279	98	283	92	277	86	259
38	303	39	312	43	306	40	317	39	325	37	287
•	•	•	•	•	•	3	284	•	•	3	251
31	218	31	215	32	218	28	221	30	213	3	206
23	190	24	196	22	195	17	198	25	193	23	184
10	218	10	215	11	218	10	221	10	213	1	206
•	•	•	•	•	•	3	82	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	14	284	•	•	15	251
10	303	11	312	12	306	11	317	11	325	10	287
•	•	•	•	•	•	3	147	•	•	3	170
•	•	•	•	•	•	4	190	•	•	4	175
•	•	•	•	•	•	3	247	•	•	4	285
•	•	•	•	•	•	3	60	•	•	1	333
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

Station	IWAKUNI 岩国		YOBOKORI 与移		ŌITA 大分		HIJI 日出		NASAMI 那沙美	
	N 34°10′		N 33°23′		N 33°15′		N 33°22′		N 34°15′	
	E 132°15′		E 132°05′		E 131°36′		E 131°32′		E 132°23′	
	h		h		h		h		h	
M. H. W. I.	9 31		8 17		8 21		8 25		9 25	
	M		M		M		M		M	
Spring range	2 78		2 04		1 66		1 64		2 78	
Neap range	1 10		88		70		56		98	
Mean range	1 94		1 46		1 18		1 10		1 88	
Mean sea level	1 93		1 48		1 28		1 26		1 86	
Spring rise	3 32		2 50		2 11		2 08		3 25	
Neap rise	2 48		1 92		1 63		1 54		2 35	
Diurnal inequality	0.39		0.45		0.54		0.54		0.34	
	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°
M_2	97	276	73	240	59	242	55	244	94	273
S_2	42	300	29	275	24	270	27	276	45	316
ν_2	•	•	3	256	•	•	•	•	29	210
K_1	32	214	26	198	26	208	27	206	18	192
O_1	22	188	20	189	19	183	17	190	•	•
P_1	11	214	9	198	9	208	9	206	•	•
M_4	•	•	1	175	•	•	•	•	•	•
N_2	•	•	13	256	•	•	•	•	•	•
K_2	11	300	8	275	7	270	7	276	•	•
μ_2	•	•	3	235	•	•	5	330	•	•
Q_1	•	•	5	162	•	•	•	•	•	•
L_2	•	•	4	250	•	•	•	•	•	•
MS_4	•	•	1	173	•	•	•	•	•	•
Ssa	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Sa	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

Station	ITSUKU SHIMA 厳島		ŌNO-SETO 大野瀬戸		SHINMINATO 新湊		DOI 土居		MOROSHIMA SUIDŌ 諸島水道	
	N 34°18′		N 34°16′		N 34°11′		N 33°55′		N 33°57′	
	E 132°19′		E 132°16′		E 132°14′		E 132°18′		E 132°28′	
	h		h		h		h		h	
M. H. W. I.	9 34		9 34		9 31		9 34		9 08	
	M		M		M		M		M	
Spring range	2 86		2 76		2 72		2 62		2 70	
Neap range	1 26		1 20		1 04		1 06		1 22	
Mean range	2 06		1 98		1 88		1 84		1 96	
Mean sea level	1 98		1 95		1 87		1 80		1 92	
Spring rise	3 41		3 33		3 23		3 11		3 27	
Neap rise	2 61		2 55		2 39		2 33		2 53	
Diurnal inequality	0.39		0.41		0.38		0.37		0.42	
	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°
M_2	103	277	99	277	94	276	92	277	98	265
S_2	40	310	39	310	42	307	39	307	37	292
ν_2	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
K_1	31	219	31	220	30	218	29	219	34	216
O_1	24	201	26	199	21	198	20	198	23	187
P_1	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
M_4	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
N_2	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
K_2	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
μ_2	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Q_1	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
L_2	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
MS_4	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Ssa	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Sa	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

NAKASHIMA 中島		MUTSUKI SETO 睦月瀬戸		GOGOSHIMA 興居島		OKIKAMURO 沖家室島		ŌBATAKE SETO 大畠瀬戸		AOSHIMA 青島	
N 33°58′		N 33°59′		N 33°55′		N 33°51′		N 33°58′		N 33°44′	
E 132°35′		E 132°38′		E 132°41′		E 132°22′		E 132°10′		E 132°29′	
h		h		h		h		h		h	
9 21		9 23		9 19		9 02		9 00		8 48	
M		M		M		M		M		M	
2 46		2 70		2 64		2 48		2 56		2 60	
94		1 18		1 20		1 12		1 00		1 08	
1 90		1 94		1 92		1 80		1 78		1 84	
1 76		1 90		1 86		1 76		1 78		1 83	
2 99		3 25		3 18		2 98		3 06		3 13	
2 43		2 49		2 46		2 32		2 28		2 37	
0.43		0.41		0.41		0.42		0.39		0.41	
H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°
85	271	97	272	96	270	90	262	89	261	92	255
38	294	38	300	36	303	34	291	39	290	38	284
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
31	212	31	211	30	217	30	213	29	212	31	206
22	196	24	193	24	193	22	193	21	199	22	183
•	•	•	•	•	•	10	200	9	198	10	193
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	9	291	11	290	10	284
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

NAGAHAMA 長浜		MITSUKUE 三机		SAGANOSEKI 佐賀関		KAMEGAWA 亀川		HIMESHIMA 姫島		KAGACHI 香々地	
N 33°37′		N 33°27′		N 33°15′		N 33°20′		N 33°44′		N 33°41′	
E 132°29′		E 132°14′		E 131°53′		E 131°30′		E 131°39′		E 131°31′	
h		h		h		h		h		h	
8 27		8 31		8 25		8 19		8 54		8 54	
M		M		M		M		M		M	
2 54		2 42		1 50		1 70		2 50.6		2 70	
1 06		1 02		62		70		99.4		1 06	
1 80		1 72		1 06		1 20		1 75.0		1 88	
1 74		1 77		1 23		1 31		1 74.8		1 86	
3 01		2 98		1 98		2 16		3 00.1		3 21	
2 27		2 28		1 54		1 66		2 24.5		2 39	
0.37		0.46		0.64		0.54		0.40		0.38	
H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°
90	245	86	247	53	244	60	241	87.5	258.0	94	258
37	289	35	277	22	274	25	266	37.8	288.3	41	286
•	•	•	•	•	•	•	•	3.3	200.0	•	•
28	206	31	206	27	209	27	208	28.2	211.3	30	215
19	180	25	180	21	189	19	185	21.3	190.9	21	189
•	•	•	•	•	•	•	•	8.1	212.8	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•	0.3	86.4	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•	15.9	246.7	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•	10.5	286.5	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•	1.2	200.6	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•	4.4	182.3	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•	1.9	269.2	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•	3.2	230.0	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•	2.1	359.1	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•	17.1	155.2	•	•

Station	USHIMA 宇島		KAMINOSEKI 上ノ関海峡		KOBUMI 小踏		TANA 田名		TOKUYAMA 徳山	
	N 33°38′		N 33°50′		N 34°01′		N 33°55′		N 34°02′	
	E 131°08′		E 132°07′		E 131°49′		E 132°03′		F 131°48′	
	h		h		h		h		h	
M. H. W. I.	8 46		8 44		8 40		8 40		8 46	
	M		M		M		M		M	
Spring range	3 10		2 38		2 56		2 38		2 56	
Neap range	1 26		86		1 08		98		92	
Mean range	2 18		1 62		1 82		1 68		1 74	
Mean sea level	2 09		1 64		1 80		1 69		1 78	
Spring rise	3 64		2 83		3 08		2 88		3 06	
Neap rise	2 72		2 07		2 34		2 18		2 24	
Diurnal inequality	0.40		0.38		0.41		0.42		0.39	
	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°
M_2	109	254	81	253	91	251	84	251	87	254
S_2	46	290	38	276	37	281	35	284	41	281
ν_2	•	•	•	•	•	•	•	•	3	246
K_1	31	208	26	208	29	207	29	208	28	203
O_1	23	192	19	191	23	187	21	190	22	190
P_1	•	•	•	•	•	•	10	208	9	203
M_4	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
N_2	•	•	•	•	•	•	•	•	17	246
K_2	•	•	•	•	•	•	10	284	11	281
μ_2	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Q_1	•	•	•	•	•	•	•	•	4	169
L_2	•	•	•	•	•	•	•	•	4	254
MS_4	•	•	•	•	•	•	•	•	1	313
Ssa	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Sa	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

Station	ONODA 小野田		IYOGUSHI 伊予串		TOMARIGA UCHI 泊ケ内		ŌSHIMA 大島		TSUKUMI 津久見	
	N 33°59′		N 33°22′		N 33°08′		N 32°58′		N 33°04′	
	E 131°11′		E 132°03′		E 131°54′		E 132°04′		E 131°52′	
	h		h		h		h		h	
M. H. W. I.	8 50		7 34		7 44		7 07		7 37	
	M		M		M		M		M	
Spring range	3 44		1 82		1 50		1 28		1 46	
Neap range	1 40		78		66		52		58	
Mean range	2 42		1 30		1 08		90		1 02	
Mean sea level	2 32		1 33		1 19		1 03		1 19	
Spring rise	4 04		2 24		1 94		1 67		1 92	
Neap rise	3 02		1 72		1 52		1 29		1 48	
Diurnal inequality	0.35		0.46		0.59		0.61		0.63	
	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°
M_2	121	256	65	219	54	224	45	206	51	221
S_2	51	279	26	249	21	249	19	238	22	241
ν_2	•	•	3	214	2	220	2	195	•	•
K_1	34	210	24	193	24	199	22	197	26	203
O_1	26	193	18	180	20	180	17	180	20	175
P_1	12	210	8	193	8	199	7	197	9	203
M_4	3	350	1	224	1	226	1	195	•	•
N_2	•	•	13	214	10	220	9	195	•	•
K_2	14	279	7	249	6	249	5	238	6	241
μ_2	•	•	4	186	3	183	3	207	•	•
Q_1	•	•	4	167	5	167	4	160	•	•
L_2	2	332	4	250	2	214	3	232	•	•
MS_4	•	•	1	238	1	208	1	246	•	•
Ssa	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Sa	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

GAMOE 蒲江	MITAJIRI 三田尻	KARIYA 刈屋	AOHAMA 青浜	IWAGURO 岩黒	MAEDA 前田
N 32°47′	N 34°02′	N 33°57′	N 33°57′	N 33°59′	N 33°58′
E 131°55′	E 131°35′	E 131°08′	E 131°01′	E 130°58′	E 130°58′
h	h	h	h	h	h
6 04	8 46	8 48	8 50	9 00	8 56
M	M	M	M	M	M
1 50	2 54	3 22	3 15.8	3 10	3 02
58	94	1 22	1 26	1 18	1 14
1 04	1 74	2 22	2 19.4	2 14	2 08
1 11	1 70	2 09	2 09.8	2 07	2 01
1 86	2 97	3 70	2 71.3	3 62	3 52
1 40	2 17	2 70	2 71.3	2 66	2 58
0.48	0.34	0.30	0.33	0.34	0.33

H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°
52	176	87	254	111	255	109.7	256.3	107	261	104	259
23	201	40	281	50	283	48.2	286.7	48	290	47	291
2	174	•	•	•	•	5.8	264.6	•	•	•	•
20	192	26	215	28	210	29.5	210.9	28	212	29	211
16	177	17	188	20	188	22.4	189.1	24	194	21	194
7	192	•	•	•	•	8.9	213.9	•	•	•	•
1	194	•	•	•	•	2.2	2.9	•	•	2	312
9	174	•	•	•	•	20.6	244.3	•	•	•	•
6	201	•	•	•	•	12.9	283.1	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	2.1	250.6	•	•	•	•
3	162	•	•	•	•	4.5	178.9	•	•	•	•
2	181	•	•	•	•	3.7	274.6	•	•	•	•
1	11	•	•	•	•	2.0	247.2	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	4.5	300.6	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	19.3	151.2	•	•	•	•

MIMOGAWA 御裳川	DANNOURA 壇之浦	ISAKI 伊崎	MYOJINBANA 明神鼻	MOJI 門司	DESHIMACHI 弟子待
N 33°58′	N 33°58′	N 33°57′	N 33°57′	N 33°57′	N 33°56′
E 130°57′	E 130°57′	E 130°55′	E 130°58′	E 130°58′	E 130°55′
h	h	h	h	h	h
8 58	8 58	9 11	9 00	9 00	9 13
M	M	M	M	M	M
2 36	2 16.2	1 90	2 30	1 96	1 66
88	85.4	70	90	76	68
1 62	1 50.8	1 30	1 60	1 36	1 24
1 59	1 42.4	1 25	1 50	1 29	1 20
2 77	2 50.5	2 20	2 65	2 27	1 96
2 03	1 85.1	1 60	1 85	1 67	1 54
0.35	0.32	0.32	0.30	0.32	0.33

H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°
81	260	75.4	259.6	65	266	80	261	68	261	62	267
37	290	32.7	290.1	30	296	35	292	30	296	28	297
•	•	2.1	199.4	•	•	•	•	•	•	•	•
24	221	18.8	230.6	15	238	19	230	17	236	16	242
17	204	15.5	216.0	15	277	16	217	14	225	14	229
•	•	5.4	234.0	•	•	•	•	•	•	•	•
3	340	5.3	352.4	•	•	7	345	•	•	3	2
•	•	13.0	247.8	•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	8.9	285.8	•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	1.4	294.0	•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	3.2	203.6	•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	2.4	289.6	•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	2.4	338.8	•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	2.9	14.6	•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	19.8	142.2	•	•	•	•	•	•	•	•

Station	TANOKUBI 田ノ首		HAEDOMARI 南風泊		WAKAMATSU 若松		SHIMOURA 下浦		KUZU 葛	
	N 33°56′		N 33°57′		N 33°55′		N 33°15′		N 32°59′	
	E 130°55′		E 130°52′		E 130°49′		E 131°52′		E 131°54′	
	h		h		h		h		h	
M. H. W. I.	9 21		9 41		9 56		7 44		6 56	
	M		M		M		M		M	
Spring range	1 46		1 09		1 10		1 57.2		1 28	
Neap range	58		37.8		38		63.2		56	
Mean range	1 02		73.4		74		1 10.2		92	
Mean sea level	97		78.3		79		1 22.5		1 06	
Spring rise	1 70		1 32.8		1 34		2 01.1		1 70	
Neap rise	1 26		97.2		98		1 54.1		1 34	
Diurnal inequality	0.33		0.44		0.44		0.56		0.66	
	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°
M_2	51	271	37	288	37	288	55.1	224.3	46	201
S_2	22	308	18	316	18	316	23.5	249.4	18	229
ν_2	·	·	·	·	·	·	1.3	228.0	·	·
K_1	14	260	12	288	12	288	24.9	200.8	23	195
O_1	10	244	12	270	12	270	19.0	177.8	19	173
P_1	·	·	·	·	·	·	7.9	194.3	·	·
M_4	·	·	·	·	·	·	1.1	206.6	·	·
N_2	·	·	·	·	·	·	10.6	212.6	·	·
K_2	·	·	·	·	·	·	6.1	246.1	·	·
μ_2	·	·	·	·	·	·	2.0	169.4	·	·
Q_1	·	·	·	·	·	·	3.9	168.4	·	·
L_2	·	·	·	·	·	·	1.6	258.4	·	·
MS_4	·	·	·	·	·	·	2.5	213.0	·	·
Ssa	·	·	·	·	·	·	3.8	314.4	·	·
Sa	·	·	·	·	·	·	13.9	148.0	·	·

Station	YAWATA-HAMA 八幡浜		OKUCHIWAN 奥地湾		MIZUGAURA 水ケ浦		SHIONASHI 塩成		NOTO 能登	
	N 33°27′		N 33°20′		N 33°12′		N 33°26′		N 33°10′	
	E 132°24′		E 132°23′		E 132°27′		E 132°15′		E 132°16′	
	h		h		h		h		h	
M. H. W. I.	7 21		7 19		7 15		71 7		7 11	
	M		M		M		M		M	
Spring range	1 70		1 70		1 68		1 68		1 58	
Neap range	66		70		64		68		66	
Mean range	1 18		1 20		1 16		1 18		1 12	
Mean sea level	1 30		1 29		1 27		1 27		1 21	
Spring rise	2 15		2 14		2 11		2 11		2 00	
Neap rise	1 63		1 64		1 59		1 59		1 54	
Diurnal inequality	0.53		0.52		0.51		0.51		0.53	
	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°
M_2	59	213	60	212	58	210	59	211	56	208
S_2	26	240	25	235	26	236	25	233	23	238
ν_2	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
K_1	25	198	24	195	24	195	24	195	24	194
O_1	20	180	20	176	19	178	20	177	18	116
P_1	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
M_4	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
N_2	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
K_2	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
μ_2	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
Q_1	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
L_2	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
MS_4	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
Ssa	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
Sa	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·

KASHIWA-ZAKI 柏崎	KANNOURA 甲ノ浦	MUROTO 室戸	URADO 浦戸	SUSAKI 須崎	SUKUMO 宿毛
N 33°01′	N 33°33′	N 33°17′	N 33°30′	N 33°23′	N 32°54′
E 132°29′	E 134°18′	E 134°09′	E 133°35′	E 133°17′	E 132°42′
h	h	h	h	h	h
6 25	5 54	5 54	6 23	5 54	6 04
M	M	M	M	M	M
1 56	1 42	1 56	1 34	1 44	1 54
64	58	64	58	56	58
1 10	1 00	1 10	96	1 00	1 06
1 19	1 09	1 19	1 02	1 09	1 17
1 97	1 79	1 97	1 69	1 81	1 94
1 51	1 38	1 51	1 31	1 37	1 46
0.53	0.54	0.53	0.52	0.51	0.52

H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°	H cm	κ°
55	186	50	171	55	172	48	185	50	172	53	176
23	213	21	201	23	197	19	220	22	196	24	203
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
23	191	20	185	24	192	19	182	21	173	22	188
18	172	18	171	17	169	16	117	16	171	18	172
•	•	•	•	•	•	7	182	7	173	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	5	220	6	196	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

(The data published in the tide tables of the Japan Meteorological Agency are omitted.)

Appendix Table 3. Data of the time difference and ratio of the range at the stations located in The Seto Inland Sea and Tosa-wan.

Station	Position		Standard station	Correction	
	Lat. N	Long. E		Time difference	Ratio of the range
			KII-SUIDÔ.	h m	
HII	33°55′	135°06′	WAKAYAMA	−0.12	0.99
SHIMOTSU	34 07	135 08	〃	−0.03	0,99
WAKAYAMA	34 13	135 09	〃	±0	1.00
KANNOURA	33 33	134 18	KOMATSUJIMA	−0.20	1.13
TACHIBANAURA	33 52	134 39	〃	−0.13	1.07
KOMATSUJIMA	34 00	134 35	〃	±0	1.00
TOSADOMARI	34 11	134 38	〃	+0.51	0.85
FUKURAURA	34 15	134 42	〃	+0.19	1.04
DÔNOURA	34 13	134 35	〃	+1.21	0.73
			EAST PART OF THE INLAND SEA.		
TOMOGASHIMA	34 17	135 00	SUMOTO	−0	1.27
YURA	34 16	134 57	〃	−0.18	1.08
SUMOTO	34 20	134 54	〃	±0	1.00
TANNOWA	34 20	135 10	TANNOWA	±0	1.00
KISHIWADA	34 28	135 22	〃	−0.13	0.97
ÔSAKA	34 39	135 26	ÔSAKA	±0	1.00
KÔBE	34 41	135 11	KÔBE	±0	1.00
KARUMOJIMA	34 39	135 10	〃	−0.04	1.03
MAIKO	34 38	135 02	〃	+0.29	0.62
IWAYA	34 35	135 01	〃	+0.10	0.64
AKASHI	34 39	135 00	〃	+0.49	0.53
EZAKI	34 36	134 59	〃	+0.49	0.48
TOSHIMA	34 23	134 56	IESHIMA	−0.24	0.49
MUROTSU	34 32	134 52	〃	+0.33	0.75
EI	34 28	134 49	〃	+0.33	0.77
ANAGAURA	34 16	134 40	〃	+0.45	1.01
MAGOSAKI	34 14	134 39	〃	+0.23	0.93
KITADOMARIURA	34 14	134 35	〃	−1.41	0.68
AJIRO	34 14	134 38	〃	+1.07	1.13
TAKASAGO	34 45	134 49	〃	−0.15	0.88
SHIKAMA	34 47	134 41	〃	+0.02	0.95
HIROHATA	34 47	134 37	〃	+0.07	0.98
IESHIMA	34 41	134 32	〃	±0	1.00
AIOIURA	34 47	134 28	〃	−0.06	1.08
ÔTABUJIMA	34 41	134 18	〃	±0	1.18
USHIMADO	34 35	134 06	〃	−0.08	1.63
HIKIDA	34 14	134 24	〃	+0.29	1.14
SAKATE	34 27	134 19	〃	+0.10	1.24
UNO	34 29	133 57	UNO	±0	1.00
SHIMOSTUI	34 26	133 48	〃	+0.09	1.35

Station	Position		Standard station	Correction	
	Lat. N	Long. E		Tine difference	Ratio of the range
TSURESHIMA	34°31′	133°45′	UNO	+0.22	1.52
KASAOKA	34 31	133 31	〃	+0.08	1.71
JIZÔSAKI	34 26	134 16	TAKAMATSU	−0.22	0.76
IKEDAWAN	34 29	134 12	〃	−0.18	0.78
OGISHIMA	34 26	134 03	〃	+0.06	0.93
TAKAMATSU	34 21	134 02	〃	±0	1.00
NAOSHIMA	34 27	133 58	〃	±0	1.09
SAKAIDE	34 19	133 51	〃	−0.01	1.44
NABESHIMA	34 23	133 49	〃	+0.09	1.43
KURISHIMA	34 16	133 38	〃	+0.09	1.76
WEST PART OF THE INLAND SEA.					
TOMONOTSU	34 23	133 22	ITOZAKI	+0.21	1.06
TACHIBANA	34 21	133 12	〃	+0.16	1.02
DOSHÔ	34 16	133 12	〃	+0.16	1.03
ONOMICHI. St	34 24	133 12	〃	+0.07	1.05
ITOZAKI	34 23	133 07	〃	±0	1.00
KOSAKIJIMA	34 22	133 06	〃	−0.03	1.01
SETODA	34 18	133 05	〃	−0.20	1.01
TADANOUMI	34 20	133 00	〃	−0.38	1.08
MISHIMA	33 59	133 33	〃	−0.07	1.11
TAKIHAMA	33 59	133 21	〃	+0.15	1.10
NIIHAMA	33 58	133 16	〃	+0.05	1.06
IMABARI	34 04	133 00	〃	−0.03	0.99
HASHIHAMA	34 07	132 58	〃	−0.44	1.09
KURUSHIMA	34 07	132 58	〃	−1.00	1.06
MITARAI	34 11	132 52	KURE	+0.18	1.04
KOYÔ	34 14	132 43	〃	+0.23	0.91
KURE	34 14	132 33	〃	±0	1.00
ONDO-SETO	34 12	132 32	〃	+0.03	0.88
SAKIOKU	34 10	132 32	〃	+0.01	0.96
UJINA	34 21	132 28	〃	−0.03	0.99
HIROSHIMA	34 21	132 28	〃	+0.09	0.95
ETAJIMA	34 14	132 28	〃	+0.01	1.01
ETAUCHI	34 15	132 28	〃	−0.02	0.98
MINOU	34 15	132 23	〃	−0.13	0.96
ITSUKUSHIMA	34 18	132 19	〃	−0.04	0.99
ÔNO-SETO	34 16	132 16	〃	−0.04	0.95
NASAMI. St	34 15	132 23	〃	−0.13	0.96
SHINMINATO	34 11	132 14	〃	−0.07	0.94
IWAKUNI	34 10	132 15	〃	−0.07	0.96
ÔBATAKE-SETO	33 58	132 10	〃	−0.39	0.88
MUROO	34 06	132 33	MATSUYAMA	+0.23	0.94
KARÔUTO	34 04	132 33	〃	+0.20	0.92

Station	Position		Standard station	Correction	
	Lat. N	Long. E		Time difference	Ratio of the range
HAYASE-SETO	34°09′	132°29′	MATSUYAMA	+0.23	0.94
MUTSUKI-SETO	33 59	132 38	〃	+0.13	0.96
NAKASHIMA	33 58	132 35	〃	+0.20	0.88
GOGOSHIMA	33 55	132 41	〃	+0.09	0.94
MOROSHIMA. St	33 57	132 28	〃	−0.03	0.96
MITSUHAMA	33 52	132 43	〃	±0	1.00
AOSHIMA	33 44	132 29	〃	−0.23	0.93
NAGASHIMA	33 37	132 29	〃	−0.44	0.91
MITSUKUE	33 27	132 14	〃	−0.41	0.86
YOBOKORI	33 23	132 05	〃	−0.55	0.73
IYOGUSHI	33 22	132 03	〃	−1.38	0.64
OKIKAMURO	33 51	132 22	〃	−0.10	0.89
DOI	33 55	132 18	〃	+0.22	0.94
AGENOSHÔ	33 54	132 17	〃	−0.16	0.88
KAMINOSEKI	33 50	132 07	〃	−0.28	0.85
YONA	33 55	132 03	TOKUYAMA	−0.07	0.93
TOKUYAMA	34 02	131 48	〃	±0	1.00
MITAJIRI	34 02	131 35	〃	−0.01	0.99
KAGACHI	33 41	131 31	〃	+0.07	1.05
HIMESHIMA	33 44	131 39	〃	+0.07	0.98
UBE	33 59	131 25	UBE	±0	1.00
KARIYA	33 57	131 08	〃	±0	1.03
ONODA	33 59	131 11	〃	+0.02	1.10
MAEDA	33 58	130 58	SHIMONOSEKI	−0.01	1.40
DANNOURA	33 58	130 57	〃	±0	1.00
SHIMONOSEKI	33 58	130 57	〃	±0	1.00
DESHIMACHI	33 56	130 55	〃	+0.16	0.77
TANOKUBI	33 56	130 55	〃	+0.24	0.68
MOJI	33 57	130 58	〃	+0.03	0.91
HAEDOMARI	33 57	130 52	WAKAMATSU	−0.15	0.99
WAKAMATSU	33 55	130 49	〃	±0	1.00
AOHAMA	33 57	131 01	KARITA	+0.02	0.98
KARITA	33 47	131 00	〃	±0	1.00
UJIMA	33 38	131 08	〃	−0.03	0.96
HIZI	33 22	131 32	UWAJIMA	+1.00	0.98
KAMEGAWA	33 20	131 30	〃	+0.54	1.02
ÔITA	33 15	131 36	〃	+0.56	1.00
		BUNGO-SUIDO			
SHIONASHI	33 26	132 15	UWAJIMA	−0.05	1.01
YAWATAHAMA	33 27	132 24	〃	±0	1.02
OKUCHIWAN	33 20	132 23	〃	−0.03	1.02
UWAJIMA	33 14	132 33	〃	±0	1.00
MIZUGAURA	33 12	132 27	〃	−0.06	1.01
NOTO	33 10	132 16	〃	−0.09	0.95

Station	Position		Standard station	Correction	
	Lat. N	Long. E		Time difference	Ratio of the range
KASHIWAZAKI	33°01′	132°29′	UWAJIMA	+0.56	0.94
SAGANOSEKI	33 15	131 53	〃	+1.01	0.90
SHIMOURA	33 15	131 52	〃	+0.20	0.94
TOMARIGAURA	33 08	131 54	〃	+0.20	0.90
TSUKUMI	33 04	131 52	〃	+0.13	0.88
KUZU	32 59	131 54	〃	−0.28	0.77
ÔSHIMA	32 58	132 04	〃	−0.16	0.77
GAMOE	32 47	131 55	〃	−1.19	0.90
SUKUMO	32 54	132 42	TOSASHIMIZU	+0.03	1.04
SHIMIZU	32 47	132 58	〃	±0	1.00
		TOSA-WAN			
MUROTO	33 17	134 09	KÔCHI	−0.10	1.10
KÔCHI	33 30	133 35	〃	±0	1.00
URADO	33 30	133 35	〃	+0.21	0.94
SUSAKI	33 23	133 17	〃	−0.09	1.01

溶存窒素過剰に因る魚のガス病について

江　草　周　三

広島大学水畜産学部水産学科

The Gas Disease of Fish due to Excess of Nitrogen

Syuzo EGUSA[1)]

Department Fisheries, of Faculty of Fisheries and Animal Husbandry, Hiroshima University, Fukuyama

(Plate 1; Text-figs. 1–25; Tables 1–4)

(I) 緒　　言

水中に過剰に溶けている窒素ガスは魚のガス病（気泡病とも呼ばれる）の原因となる．過剰窒素は湧水や掘抜井戸自噴水中にごく普通に存在するものであり，また，ときにはポンプで送られる水に含まれることもあって，そのような水を使う養魚場や水族館の魚の異常や死亡の原因にしばしばなる (MARSH & GORHAM, 1905; SHELFORD & ALLEE, 1913; 松江，江草，佐伯, 1953; RUCKER & HODGEBOOM ,1953). このガス病はその直接原因が体内に発生する窒素ガス泡である点で人間の減圧症と同じものであり，病理学的にも興味のある疾病である．しかし，それについての研究はほとんど行われておらず，ガス病と窒素濃度の関係もよくわかっていないし，発病の機構にも未知の点が多い．これらの問題に関し著者は種々の角度から観察，実験を行ってきたが，そのおもなものを以下に概述する．

本文に入るに先立ち，終始指導と鞭撻をいただいた松江吉行教授，有益な助言と批判をいただいた故榎並仁博士，雨宮育作先生，末広恭雄教授，大島泰雄教授に謹んで謝意を表する．

(II) ガス病と水中溶存窒素濃度の関係

窒素量がどの程度を越えると魚にガス病の徴候が現われるか？　ガス病死が起る窒素濃度はどれだけか？　また，こういったガス病と窒素濃度の関係は魚の種類によってどのように変るか？　これらの問題を検討するために一連の実験を行った．

(1) Present address: 東京大学農学部水産学科. Department of Fisheries, Faculty of Agriculture, Tokyo University, Tokyo.

(A) 材料及び方法

(1) 材　　料

実験に用いた魚種は次の5種である．

フ　ナ	*Carassius auratus* (L.)
コ　イ	*Cyprinus carpio* L.
メダカ	*Oryzias latipes* (T. et S.)
バラタナゴ	*Rhodeus ocellatus* (KNER)
ウナギ	*Anguilla japonica* T. et S.

このうち，コイはは養魚場産であるが，その外は天然産で手近の河川や池沼で採集した．入手した魚は実験前4〜5日間，よく通気した水を通じた水槽中に無給餌でおいた．

(2) 実験方法

実験は次のようにして行った．内容14〜36Lのガラス水槽に後述する方法で得られた種々の段階の高濃度窒素ガス含有水を通じ，それに供試魚を投入した．一実験の供試魚数は大形のフナ及びコイと成体形ウナギなどでは3〜7尾とした．このように比較的少数に止めたのは主として実験容器の大きさによる制約のためである．これに対し，メダカ，バラタナゴ，あるいはフナの幼魚では10〜20尾とした．(但し，コイ幼魚では5尾)．

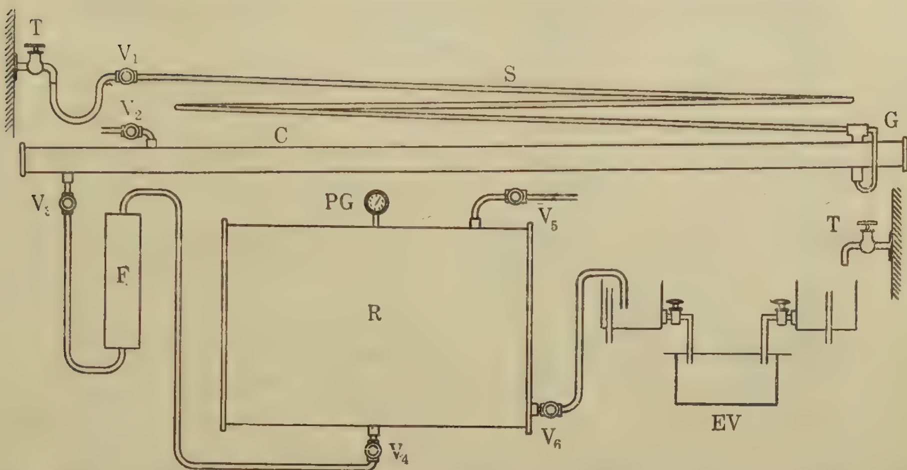
魚を投入後，時を追って異常の発生状況，換言すれば，ガス病の徴候，症状経過を観察すると同時に，主要初期徴候の発現時間を記録した．また，ガス病で死ぬものがでた時は，その致死時間を記録した．ガス病死であるか否かは，解剖検査を行って，ガス病特有の内部障害（循環系内のガス泡）が認められるか否かで判断したが，多数の実験中それの認められないものは一例もなかった（但し，メダカは例外である．それについては後に述べる)．

魚にガス病徴候を起さしめることのない窒素濃度の限界，あるいは致死限界にしても，作用期間の長短によって変ることはいうまでもない．ガス病が実際上最も問題となる湧水養魚の場合などでは，魚は過剰窒素を含む水中に無限期間おかれるわけであるから，無限時間無影響の窒素濃度の最高が実際的な安全限界ということになる．したがって，実験をできるだけ長期間継続してこの限界を知ることが望ましいわけである．ここでは実験実施上の種々の制約から最長実験期間は2週間とし，その期間を規準として発病並びに致死限界窒素濃度を求めてみた．なお，参考のために一週間における限界濃度も求めた．実験は大部分20°C前後で行った．また，実験はかなり長期に及ぶが，その間，魚に給餌はしなかった．

(3) 窒素濃度調節法

実験に必要な高濃度の窒素ガスを含む水は水道水に若干の工夫によって多量の窒素ガスを溶解せしめることによって得た．ガス添加に用いた装置の一つを模式的に描いたのが Text-fig. 1である．

図によって説明すると，S及びCは蒸気管製のガス溶解室で，最初これに水道水を満たす．V_1を閉じ，V_3を水道栓に直結し，V_2より窒素約9，酸素約1の割合に高圧ガスを送りこむとS, C内の水はV_3を経て水道管中に押しもどされる（水道水圧は約3 kg/cm^2)．S, Cがガスで満たされたならばV_3をいったん閉じてF（沪過器）に接続しかえ，V_1を水道栓に接続するなど，図のように配置し，V_3をわずかに開く．水道水はS内を流れ，Cにはいり，V_3よりFを経てRにたまる．この間，S,C内で高圧ガスは水に多量に溶解する．



Text-fig. 1. Apparatus for producing large volumes of water supersaturated with nitrogen. T, laboratory tap; V_{1-6}, valves; S, gas absorbing chamber (steam pipe of 13 mm in diameter and 10 m in total length); C, gas absorbing chamber (steam pipe of 80 mm in diameter and 3.5 m in length); F, filter; R, iron water tank of 0.8 m in diameter and 1.25 m in length; EV, experimental basin; G, water level gauge; PG, pressure gauge.

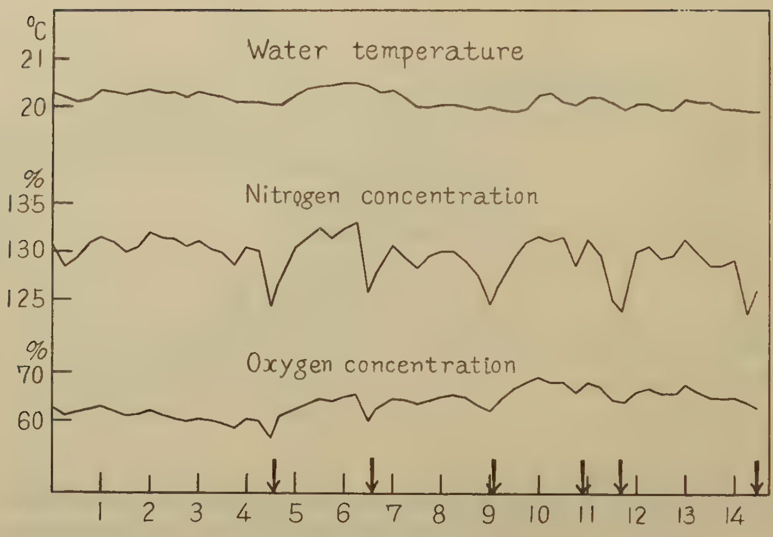
溶解量はガスの分圧，接触時間などで変るが，実際には V_3 の開き方できまる．V_3 が大きく開いて流水量が大きくなるほど内部ガス圧も小さく，接触時間も短くなるので単位水量当りの溶解量は少くなる．また，酸素と窒素の溶解速度が異なるため流出初期の水と後期の水とでは酸素，窒素の含有量が変化する．したがって，この装置では希望するガス濃度の水を直接，連続長期得ることはできないが，とにかく高窒素濃度の水をいったん R 内にたくわえることはできる．多くの場合，流水量 10～12L/hr. 位で使用したが（水温約 20°C），このさい R にたくわえられる水は飽和度にして窒素180～200%，酸素70～90%程度であった．また，実験室水道水は酸素未飽和（70%程度）のことが多かったが，この場合は，封入ガスは空気を用いても目的は達せられた．R 内の水の上部の空気は圧力調節弁によって常に約 2 気圧に保った．また，S, C 内のガスは次第に減少するので，ときどき補給した．

実験水槽にはこの水と，よく曝気した水道水を混じ，さらに必要に応じて落差を利用する曝気法を併用し，所要ガス濃度に調節した水を通じた．水温は実験室をできるだけ恒温に保つようつとめることによって定常化をはかったが，多少の変動はまぬがれ得なかった．

(4) 溶存ガス量の測定並びに実験槽内の水のガス濃度の変動

水中溶存ガスは菅原の炭酸ガス誘出法（菅原，1941）を高度過飽和の場合に適するよう多少改めた方法によって測定した．なお，盲試験によって試薬中のガスに対する補正を行った．溶存濃度は応用上の便宜を考えて飽和度で表わすこととし，窒素飽和量は WINKLER 表（MAUCHA, 1932）によった．実験槽内の水のガス濃度には後述するようにいくぶんの変動があるので，2 ないし 8 時間ごとに測定を行って変動の情況を知るようにつとめた．

一実験継続中の窒素濃度は一定であることがむろん望ましい．しかし，実際にはいくぶんの変動はまぬがれえなかった．それには種々の理由があげられる．たとえば，水源自身のガス量の変動，実験槽に水を通ずる際のガス濃度調節法の不安定さ，あるいは気温に影響される水温の変動などがそれである．また，過飽和ガスが実験槽内で遊離し逸出することの影響



Text-fig. 2. An example of variation of nitrogen level during the course of the experiment. Data from the experiment, E-10, for eels. The arrows indicate the time of death of individual fish.

も見逃しえない．もともと過飽和ガスは遊離して気泡を形成する傾向があるが，水が激しく動揺せしめられると発泡は容易に起る．魚の激しい活動もしばしば同様の結果をもたらす．

実験槽内のガス濃度の変動の一例をText-fig. 2に示した．これはウナギを対象とした一実験（E—10）におけるガス濃度変動を示したものである．この例では，ガス飽和度には常に多少の不規則変動があることがまず注目される．これはおもに水を実験槽に導く間のガス調節法の不安定さによるものと思われる．水温の変化とガス濃度の変化の間には一種の平行関係がみられるが，これは水温の影響の少くないことを示すものであろう．

この小変動の外に，ときどき起っている急激な窒素濃度の低下が注目をひく．この低下の原因は魚の激しい活動に伴う発泡現象らしい．実験開始直後は魚の興奮がしばらく続き，それ以後，魚はいったん平静となる．しかし，やがてガス病の症状が進んで死期が迫ると魚は非常に苦しみあばれ始める．死は実験中期以後に遂次起ったのであるが，急激な窒素濃度低下の時期は各死魚の苦悶期とよく一致する．事実，魚が苦悶し水中をあばれまわっているときには，程度の差はあれ気泡の発生するのが肉眼的にも認められた．したがって，この大きい変動は発泡によるものと考えられる．

この発泡は酸素濃度にも影響する．窒素の気泡が発生すると，酸素はそのガス泡中に拡散して水中より減少することになる．酸素濃度はさらに魚の消費量の変化に応じても変る．

ここにあげたのは単に一例に過ぎないが，すべての実験で，程度の差はあるが，このようなガス濃度の変動があったために，実験条件としてのガス濃度の表現には多少の困難が感ぜられた．ここでは実験期間中の全測定値の平均値で示すこととし，その変動を変異巾（最大及び最小値）と標準偏差で示すこととした．

(5) ガス病の徴候と障害

ガス病の発生とそれによる死の診断にとって，各魚種のガス病徴候と障害を明らかにして

おくことが必要である．実験を通じて得た，徴候と障害に関する知見のごく概略を次に述べておく．

実験に用いた魚は程度の差はあれ各々その種に特有な徴候を呈するが，むろん，各魚種の徴候には共通点も多い．フナ，コイにみられる代表的徴候は鰭や頭部各所の皮膚に発生する大小の気疱と眼窩内に異常ガスが蓄積するために生ずる眼球突出である．バラタナゴでは外部異常は鰭に生ずる気疱のみといってよい．

メダカの特有の異常は腹部の膨脹である．この異常は主として鰾内，ときに腸や腹腔内に異常に蓄積されるガスのため起る．このガスの浮力によって体は水面に浮上し，遂には沈むことができなくなってしまう．メダカでも鰭に気疱が生じることもあるし，眼球突出も起るが，これらは比較的高い過飽和の場合に限られる．比較的低い過飽和の場合の異常は，したがって，腹部の膨脹のみということになる．この異常は徐々に起るものであるから，それがいつ生じ始めたかを記録することには少し無理があるが，この実験では魚の背が水面に露出するようになった時間を一応異常の認められた時間として記録した．なお，この種の腹部膨脹は他の多くの魚種でも起る．フナ，コイでは前方の鰾のみが膨脹して体が垂直に浮くことがしばしばあるし，ウナギでは腹部（体中央部）のみがつり上げられたような形で浮いたりする．

ウナギにおける最初の異常ガス発生は側線管開孔でしばしばみられる．遊離ガスは最初開孔内に存在するが，それが増大するとそこから脱出し，気泡となって水中を立ちのぼる．この異常は，しかし，必ずしも形態上の病変を伴っているものとはいえない．ウナギの初期徴候として最も特徴的で，特に低過飽和の場合には唯一のものとなるのは頭部に発生するいくつかの瘤状の皮膚の小隆起である．この異常は皮下に異常ガスが集積して起るものであるが，一見したところではガス性病変とは思われず，また，その発生位置が一定であるなどきわめて風変りなものである（詳細は後の項で述べる）．ウナギも鰭に気疱を生じるが，他の魚種と相異し症状の末期になって発生が始まるのが普通である．この実験で病徴がみられ始めた時間として記録したのは瘤状隆起発生の認められた時間である．この時間には，メダカの腹部膨脹の場合と同様いくぶんの不正確さが含まれる．

ガス病死の直接原因は，ほとんど大部分の場合，主要循環器管，すなわち，心臓，動脈幹，鰓などのガス栓塞による血行障害である．これによる死の場合，すべての魚種で例外なく激しい苦悶を伴う．別の死因に傷害がある．その代表的なものはメダカ，特にその幼魚でしばしばみられる腹壁の破裂である．これは腹部内にたまるガスの圧によって腹壁が押破られるもので魚は一種の傷害死をきたす．

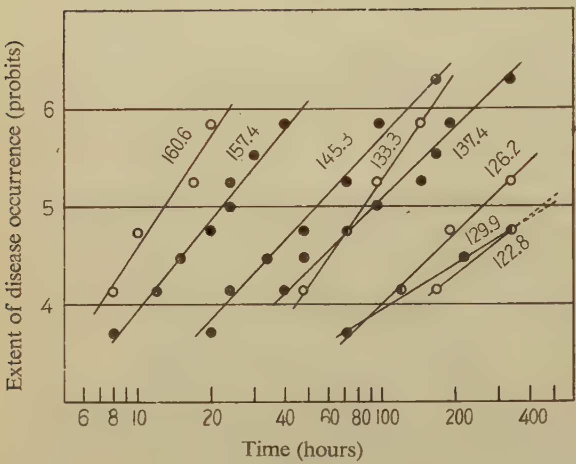
(B) 実 験 成 績

各魚種おのおの一連の実験を行ったが，それらの実験条件（窒素濃度，水温，供試魚の大きさ等）は Table 3 にまとめて示した．

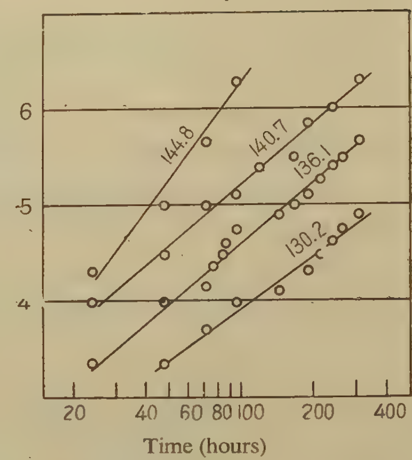
(1) 発 病 窒 素 濃 度

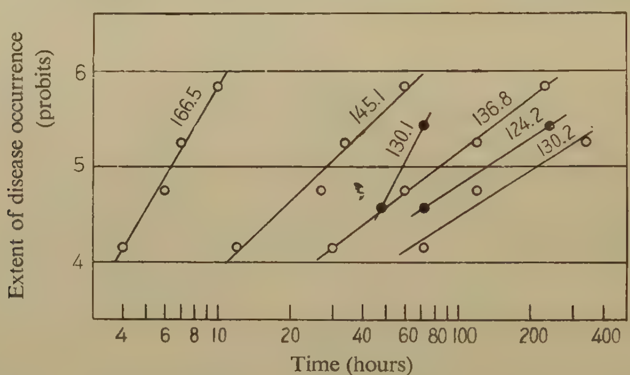
ガス病の徴候を呈した魚の尾数の供試尾数に対する割合を発病率とする．この発病率は時間の経過につれて大きくなるが，その関係は一種の時間反応関係である．そこで各魚種について経過時間の対数を横軸に，発病率のプロビットを縦軸にとってプロットしたのがText-figs. 3～7である（実験期間の最後まで全く発病をみなかった場合，また発病率のきわめて低かっ

3



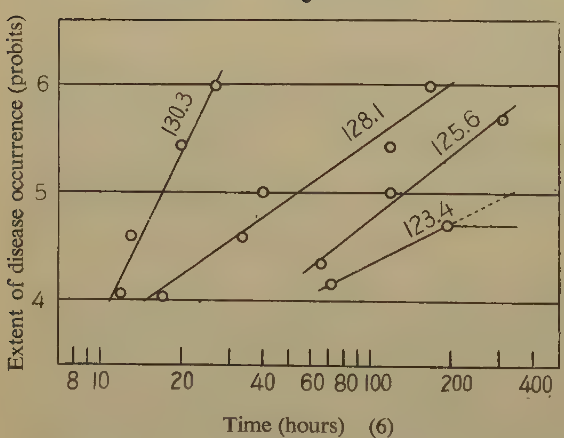
4



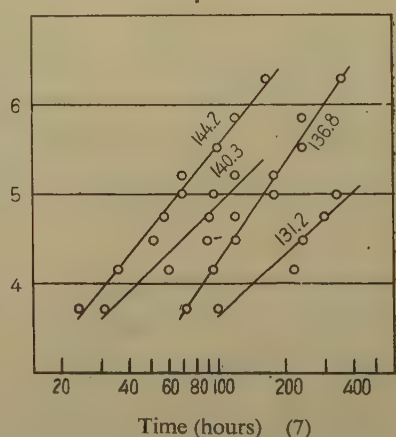


5

6



7



Text-fig. 3. Latent periods in adult (open circle) and young *Carassius auratus* (solid circle) at different nitrogen levels. Nitrogen levels, in % of air saturation, indicated by figures in body of graph. *Latent period* means the time elapsing before gas disease is manifested by external symptoms.

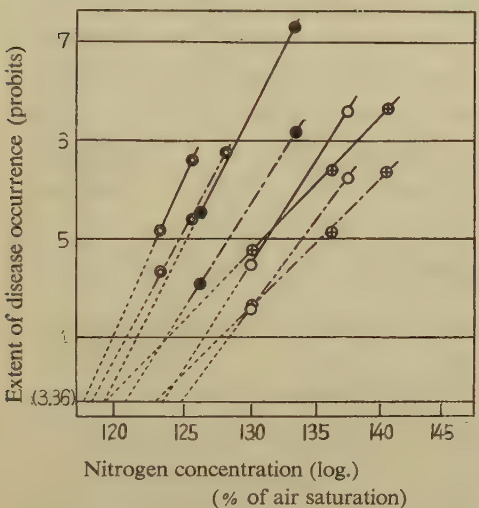
Text-fig. 4. Latent periods in *Oryzias latipes* at different nitrogen levels. Nitrogen levels, in % of air

saturation, indicated by figures in body of graph.

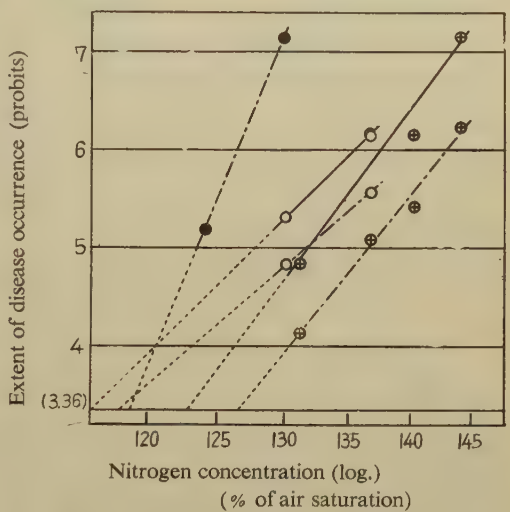
Text-fig. 5. Latent periods in adult (solid circle) and young *Cyprinus carpio* (open circle) at different nitrogen levels. Nitrogen levels, in % of air saturation, indicated by figures in body of graph.

Text-fig. 6. Latent periods in *Anguilla japonica* at different nitrogen levels. Nitrogen levels, in % of air saturation, indicated by figures in body of graph.

Text-fig. 7. Latent periods in *Rhodeus ocellatus* at different nitrogen levels. Nitrogen levels, in % of air saturation, indicated by figures in body of graph.



Text-fig. 8. Extents of disease occurrence within periods of one (chain line) or two weeks (solid line) in samples of adult (solid circle), young *Carassius auratus* (open circle), *Oryzias latipes* (cross circle) and *Anguilla japonica* (double circle), exposed to various nitrogen levels.



Text-fig.9. Extents of disease occurrence within periods of one (chain line) or two weeks (solid line) in samples of adult (solid circle) and young *Cyprinus carpio* (open circle) and *Rhodeus acellatus* (cross circle), exposed to various nitrogen levels.

た場合は図には記入してない．このような場合については Table 4 備考欄に記入してある)．前述したように発病時間には多少の，種類によってはかなりのあいまいさが含まれはするが，いずれの魚種の場合も点はほぼ直線にのる．

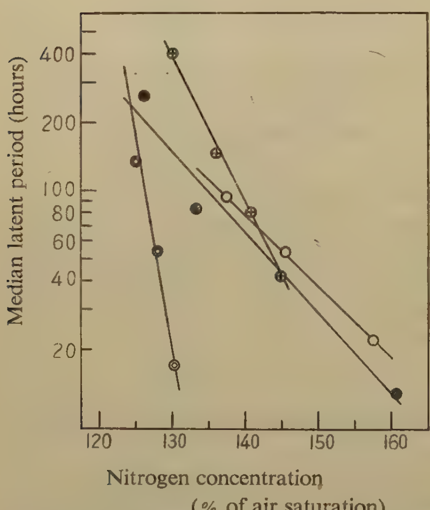
そこで，経過時間—発病率プロビットの各回帰直線を求め，それから各実験窒素濃度における一週間及び二週間経過後の発病率プロビットを求めた．つぎに，その窒素濃度の対数を横軸にとり，一週間及び二週間発病率プロビットを縦軸にとって両者の関係をみてみた (Text-figs. 8, 9)．3～4 点をとりえたメダカ，ウナギ及びバラタナゴではほぼ直線関係が成立つようである．他の魚種では 2 点しかとり得ないので危険ではあるが，一応その 2 点を結んだ直線を関係直線とみることにするが，それら 2点を結んだ直線の傾斜は3～4点から得た直線の傾斜とそれほどかけはなれたものでもないようである．但し，コイ成魚の二週間限界濃度はデータが不備で求めることができなかった．そこで，一週間及び二週間に供試魚の半数が発病する濃度をこれらの直線から求めてみた．この二週間半数発病限界窒素濃度をここでは有害限界濃度と呼ぶことにしておく．あとで示されるように，この濃度は同じ期間の致死濃度よりいくぶん低い，つまり，この濃度では病状を呈しはするが，致命的障害を呈するにはいたらず生存しうる．しかし，皮膚その他に生じた気疱は何等かの悪影響を当然もって

いるはずであるから，有害と呼んだわけである．

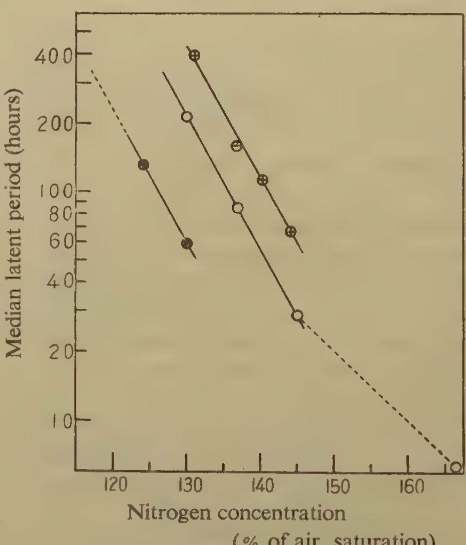
つぎに，二週間以内にほとんど大部分の魚に発病をみることのない最高窒素限界濃度（これを安全限界濃度と呼ぶことにする）を供試魚の5%（プロビット，3.36）が発病するに止まる濃度によって代表させることとし，その濃度をやはりこの直線から求めてみた．これで得られた濃度は実際の実験で全く発病のみられなかった窒素濃度よりいくぶん低い傾向がある．したがってかなりの安全性を含んだ値といえよう．

経過時間—発病率プロビットの回帰直線から各実験窒素濃度における半数発病時間を求め，その対数の窒素濃度に対する関係をみたのが Text-figs. 10, 11 である．いづれの魚種でも両者はほぼ直線関係にあるといえる．この関係直線から各窒素濃度における半数発病時間を知ることができる．また，これからも一週間及び二週間の有害限界を求めることができるが，その値は，フナ幼魚の場合を除き，さきに窒素濃度対数—発病率プロビット回帰線から求めた値に比較的近似する．なお，フナ幼魚では窒素濃度129.9%の実験での発病率が意外に低かったように思われる．

このようにして各魚種について求めた発病と窒素濃度の関係値を Table 1 にまとめて示



Text-fig. 10. Median latent periods at various nitrogen levels in adult (solid circle) and young *Carassius auratus* (open circle), *Oryzias latipes* (cross circle) and *Anguilla japonica* (double circle).



Text-fig. 11. Median latent periods at various nitrogen levels in adult (solid circle) and young *Cyprinus carpio* (open circle) and *Rhodeus ocellatus* (cross circle).

した．これによると全供試魚種を通じてみると有害限界窒素濃度は 119～131% の範囲にあるが，メダカ，フナ幼魚，コイ幼魚及びバラタナゴ等比較的小形の魚では高い値であり大形のフナ，コイ及びウナギでは低いといった傾向があるように思える．安全限界も魚種でいくぶん相異するがこれは 116～124% と比較的狭い範囲にはいる．メダカでは有害限界は割合高い値であるが，安全限界は意外に低い．この理由はわからないが，あるいは単なる腹部膨脹現象を発病判定規準にとったことにあるのかもしれない．この異常は鰭気疱其他の病変と明らかに発生機構に相異がある．

Table 1. The relations between occurrence of gas disease and nitrogen level.

Species	Size of fish (Body length) (cm)	Nitrogen levels (% of air saturation) at which 50% or 5 % of the fish show signs of gas disease within periods of one or two weeks				Median latent periods*(hr)at two nitrogen levels (% of air saturation)	
		50%		5 %		130%	140%
		1 week	2 weeks	1 week	2 weeks		
Carassius auratus	9～13 (Adult)	128.2	125.2	120.9	119.4	129	120
	3～5 (Young)	133.8	130.9	124.6	123.5	160	78
Oryzias latipes	2.6～3.0	135.5	131.1	123.1	119.7	387	89
Anguilla japonica	23～44	124.7	123.0	118.7	117.9	20	4
Cyprinus carpio	21～28 (Adult)	123.6	—	118.9	—	59	15
	3～4 (Young)	131.8	127.9	118.2	116.2	222	57
Rhodeus ocellatus	2.8～3.4	136.6	131.8	126.6	122.9	437	118

* The time elapsing before gas disease is manifested by external symptoms.

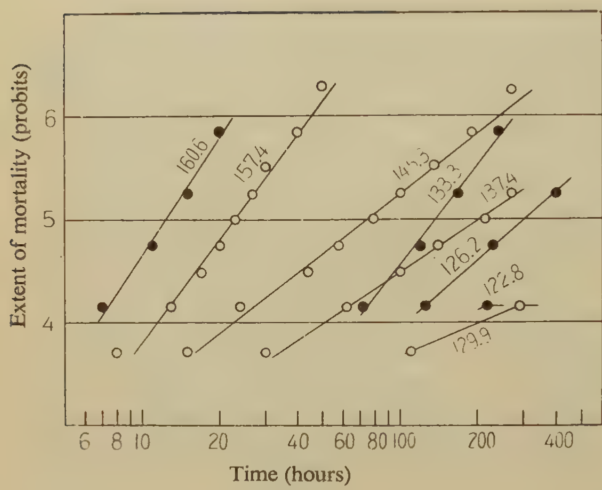
有害限界，あるいは安全限界など比較的細かい数字を求めた．しかし，供試尾数が少いこと，窒素濃度や温度に変動のあったこと，一連の実験の相互間の水温には多少の差異のあったことなどを考えると，むしろ5％単位で求める程度が安全と思われる．たとえば，すべての魚種が全くガス病の徴候を呈することなく安全に生存しうる最高窒素濃度（安全限界）は115％であるといってよいであろう．

(2) 致　死　窒　素　濃　度

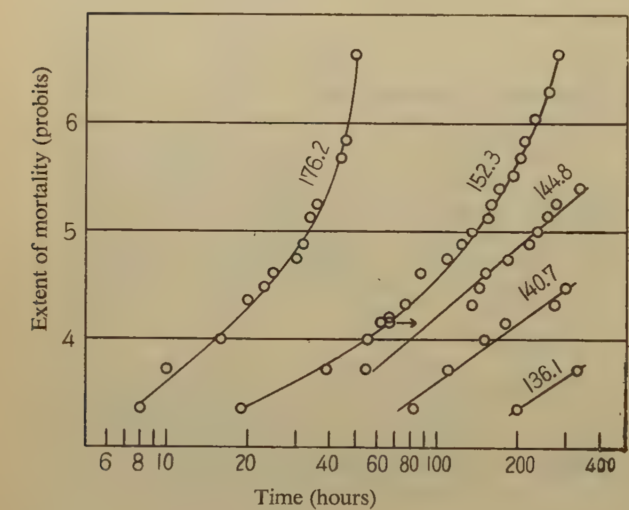
発病率をみた場合と同様，経過時間の対数を横軸に，死亡率プロビットを縦軸にとってプロットしたのが Text-figs. 12-16である．ここでも死亡率が0の場合，非常に低い場合は省いてある．図に示されるとおりフナ，コイ及びバラタナゴでは両者の間に直線関係が成立つようである．

ところが，メダカ及びウナギでは直線関係が認められない．ウナギ（Text-fig. 14）では時間の経過につれて傾斜が急になってゆく形の曲線が描かれる．この傾向はすべての実験で明瞭に認められる．これは供試尾数が少いためばかりではなさそうである．また，メダカ（Text-fig. 13）では比較的低い窒素過飽和の場合には直線となるが，窒素濃度の高い場合にはウナギと同様の曲線となる．

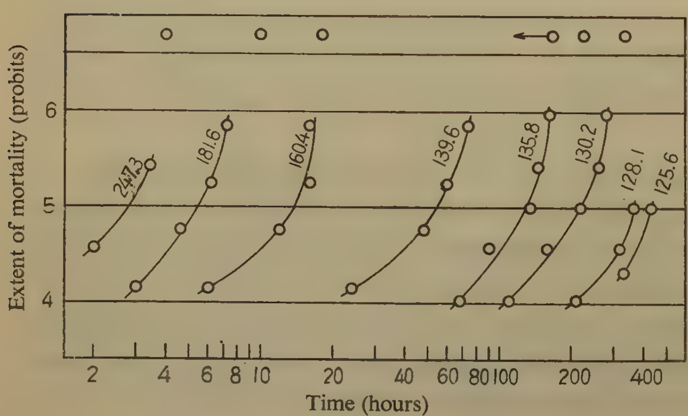
このような曲線は，かりに，遅く死ぬものほど何らかの理由で死亡時間が早められた，つまり死が促進せしめられたとすれば得られるはずである．前に述べたように魚は死ぬ前に激しい苦悶をする．ウナギでは特に激しい苦悶が数時間ないし十数時間間歇的に続く．一尾が苦悶し始めると，他の魚はそれに驚かされ，水槽内を泳ぎまわる．ウナギはそのようなことがなければ実験槽底で比較的平静にしているものである．既に報告したように，刺激をうけて運動量を増した場合，致死時間は短縮される（江草，1949）．この実験では，あとで死んだものほど他の魚の死期の苦悶によって運動が強制される回数が多かったに違いない．した



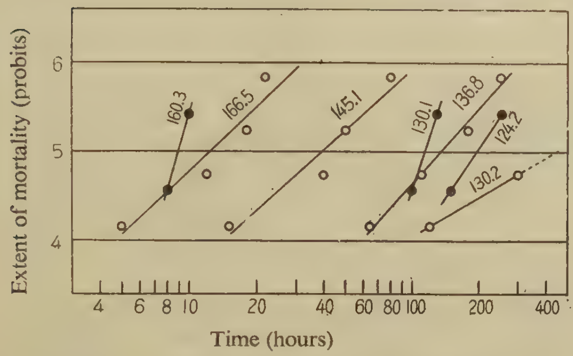
Text-fig. 12. Survival times of adult (solid circle) and young *Carassius auratus* (open circle) at various nitrogen levels. Nitrogen levels, in % of air saturation, indicated by figures in body of graph.



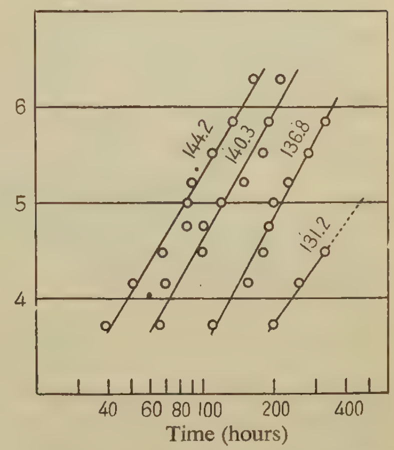
Text-fig. 13. Survival times of *Oryzias latipes* at various nitrogen levels. Nitrogen levels, in % of air saturation, indicated by figures in body of graph.



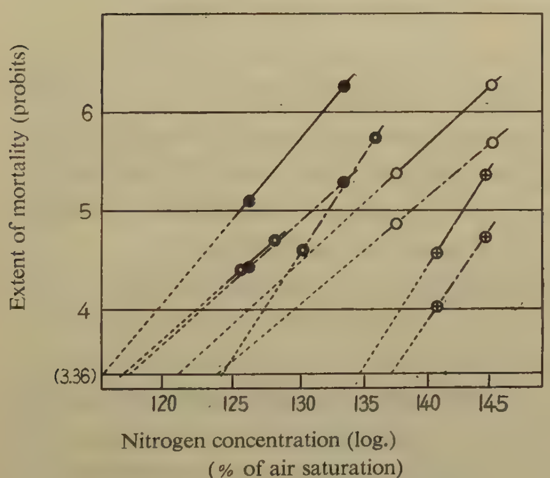
Text-fig. 14. Survival times of *Anguilla japonica* at various nitrogen levels. Nitrogen levels, in % of air saturation, indicated by figures in body of graph. Circles in box at top of graph indicate the times when 100 % mortality occurred.



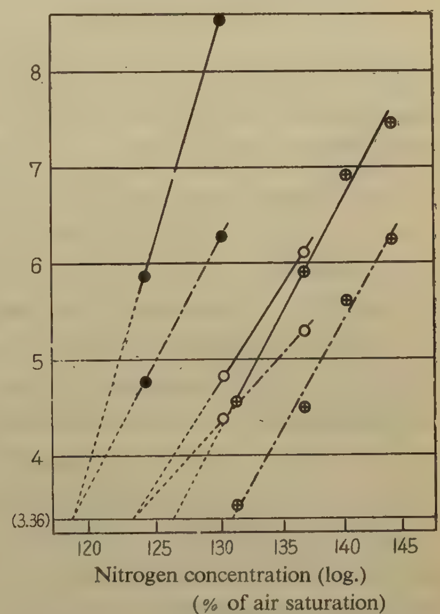
Text-fig. 15. Survival times of adult (solid circle) and young *Cypriuns carpio* (open circle) at various nitrogen levels. Nitrogen levels, in % of air saturation, indicated by figures in body of graph.



Text-fig. 16. Survival times of *Rhodeus ocellatus* at various nitrogen levels. Nitrogen levels, in % of air saturation, indicated by figures in body of graph.



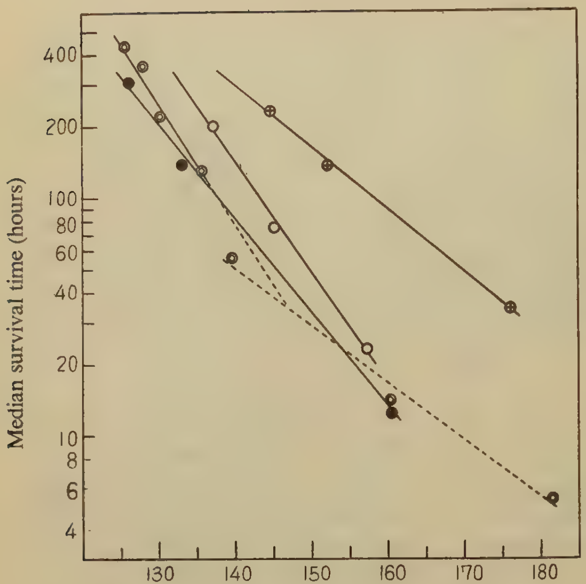
Text-fig. 17. Extents of mortality occurring within one (chain line) and two weeks (solid line) in samples of adult (solid circle) and young *Carassius auratus* (open circle), *Oryzias latipes* (cross circle) and *Anguilla japonica* (double circle) exposed to various nitrogen levels.



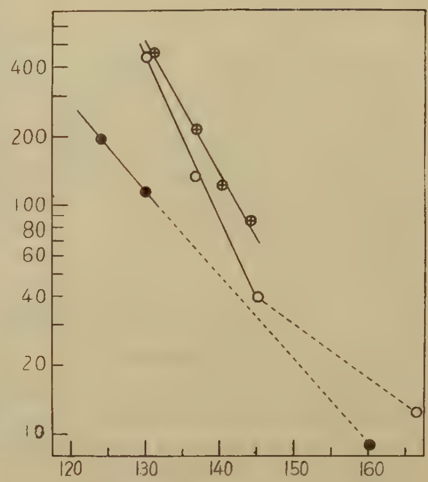
Text-fig. 18. Extents of mortality occurring within one (chain line) and two weeks (solid line) in samples of adult (solid circle) and young *Cyprinus carpio* (open circle) and *Rhodeus ocellatus* (cross circle) exposed to various nitrogen levels.

がって，それだけ致死時間が短縮されたと考えられる．

これに対しメダカの場合は一尾が苦しみ始めても，それによって他の魚が特に影響をうけて著しく活動が増すというようなことはみられない（フナ其他の魚種でも同様である）．そ



Text-fig. 19. Median survival times at various nitrogen levels in adult (solid circle) and young *Carassius auratus* (open circle), *Oryzias latipes* (cross circle) and *Anguilla japonica* (double circle).



Text-fig. 20. Median survival times at various nitrogen levels in adult (solid circle) and young *Cyprinus carpio* (open circle) and *Rhodeus ocellatus* (cross circle).

れではこの曲線が描かれる理由は何であろうか？　メダカの場合は死因の多様性が関係しているように思われる．メダカの死因はガス栓塞のほかに腹部破裂の傷害があることは前に述べた．実験中に注目されたことであるが，窒素過飽和の程度が比較的低い場合には栓塞死は割合起り難く，多くは腹部破裂によって死ぬ．高度過飽和の場合には，初期には栓塞死が多いが，時がたつと腹部破裂で死ぬものも増してくる．したがって，実験後期には二つの死因が関与するために死亡率が急傾斜で上昇することになると考えられる．

各実験窒素濃度における半数致死時間は死亡率プロビット一時間対数関係直線より求めた．メダカやウナギのようにこれが直線とならないものでは眼で曲線を描いて求めた．なお，ウナギでは正しくは半数致死時間はそれより多少大きい値となるべきである．

つぎに，これら時間対数一死亡率プロビット関係直線または曲線から求められた各実験窒素濃度における一週間及び二週間死亡率プロビットの窒素濃度の対数に対する関係は，発病率の場合と同様に直線関係であると考えられるので (Text-figs. 17, 18)，この直線関係から一週間及び二週間の半数致死窒素濃度と 5%死亡窒素濃度を求めた．なお，二週間半数致死窒素濃度を致死限界濃度，同じく 5%致死濃度を危険限界と呼ぶことにする．この危険限界は安全限界の場合と同じ理由によってかなり低目にみた値ということになる．

一方，半数致死時間と窒素濃度の間にも直線関係が成立するので (Text-figs. 19, 20)，これより各窒素濃度における半数死亡時間を求めた．また，これから求められる一週間及び二週間半数致死濃度は前に死亡率プロビットと窒素濃度の対数の関係直線から求められたそれらと比較的よく近似する．

このようにして得られたガス病死と窒素濃度との関係値をまとめたのが Table 2 である．

これら致死限界濃度あるいは危険限界濃度は魚種によってむろん相異するが，魚種による変化の範囲は発病濃度の場合より広い．特にメダカの致死濃度の高いことが目立つ．しかし，他の魚種ではそれぞれ発病濃度よりせいぜい数パーセント程度高いのに止まる．危険限界濃度もメダカのみとびはなれて高いが，全体的にみて，明らかに小形の魚では致死，危険両限界濃度とも高い，換言すれば抵抗力が大きい傾向があるように思われる．

Table 2. The relations between death from gas disease and nitrogen level.

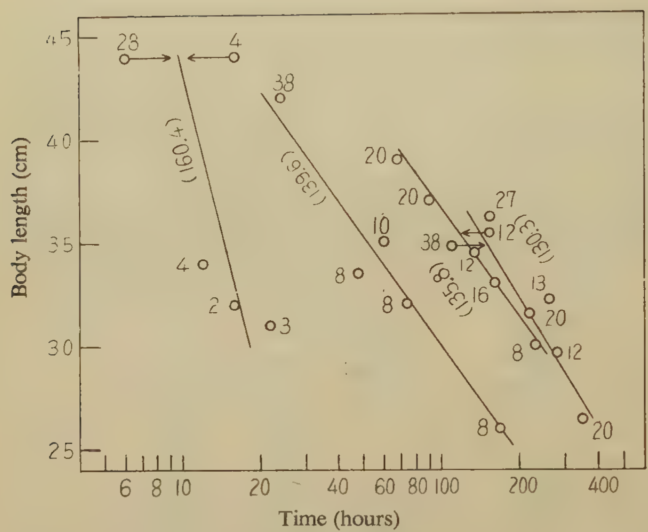
Species	Size of fish (Body length) (cm)	Nitrogen levels (% of air saturation) at which 50% or 5% mortality occurs within periods of one or two weeks				Median survival times (hr) at two nitrogen levels (% of air saturation)	
		50%		5 %		130%	140%
		1 week	2 weeks	1 week	2 weeks		
Carassius auratus	9～13 (Adult)	130.8	125.7	117.7	116.3	208	83
	3～5 (Young)	139.6	134.2	123.8	121.0	422	144
Oryzias latipes	2.6～3.0	146.6	143.0	136.9	134.6	545	298
Anguilla japonica	23～44	132.1	130.8	124.3	117.3	252	78
Cyprinus carpio	21～28 (Adult)	125.0	122.0	118.8	118.8	116	59
	3～4 (Young)	134.7	131.2	123.4	123.4	441	88
Rhodeus ocellatus	2.8～3.4	138.3	133.0	130.9	126.3	527	142

(3) 魚の大きさと抵抗力

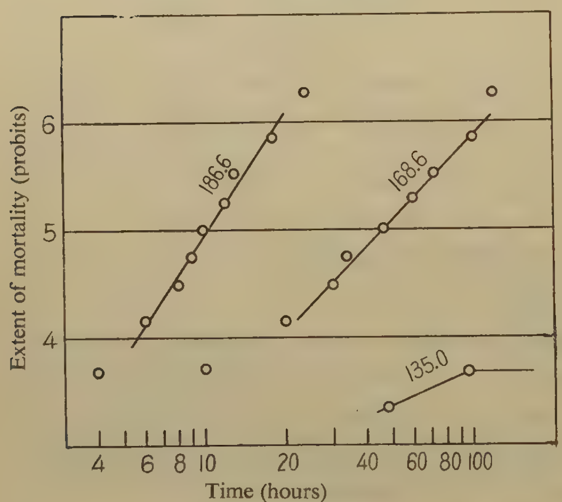
小形の魚の有害限界濃度も致死限界濃度も大形の魚のそれらより大きいこと，すなわちより抵抗性があると考えられることは既に述べた．また，Table 1, 2 に示されているようにフナ及びコイでは成長段階によって抵抗力に明らかな相異がある．すなわち，幼小魚のほうが成魚に比して有害，致死いづれの限界濃度も高いし，同一窒素濃度下における致死時間ははるかに長い．したがって幼魚の抵抗力の大きいことは明瞭である．

ウナギの各実験では，ことさらに供試魚の大きさがいくぶん相互に相異するものを選び個体別に発病時間と死亡時間を記録してみたのであるが，そのいくつかの実験結果から致死時間（対数）と体長（対数）との関係をプロットしてみると Text-fig. 21 のようになり，大形の魚ほど死亡時間が著しく短いことが示されている．換言すれば，どの実験でも小形の魚ほど遅く死んだのであるが，前述のように遅れて死んだものは，実は致死時間が短縮されていたと考えられるので実際には小形ウナギの致死時間はもっと長いということになる．

このように体長 25～45cm の範囲でも小形魚ほど抵抗力の強いことが明らかに認められたが，さらに小形となると一層大きい抵抗力を示す．Text-fig. 22 は体長 5～6cm のシラスウナギの二三濃度の過飽和窒素における死亡率時間関係を示したものである．実験数が少いので有害限界あるいは致死限界濃度を求めることは困難であるが，たとえば有害限界は 135% よりかなり高いものであることは明らかである．130%及び 140%の窒素下における半数致死時間はそれぞれ大略 1100 時間及び 490 時間と推定される．



Text-fig. 21. The relation of size of fish to survival times in *Anguilla japonica* exposed to various nitrogen levels. Figures in body of graph indicate latent periods of individual fish and those enclosed with parentheses nitrogen levels in % of air saturation.

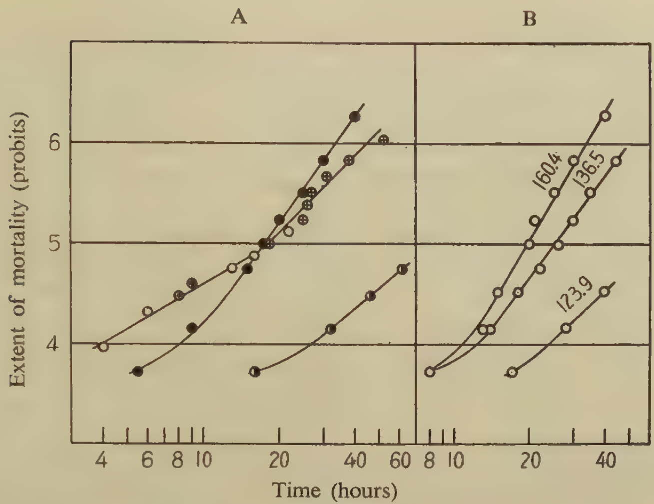


Text-fig. 22. Survival times of elver (*Anguilla japonica*) at various nitrogen levels. Nitrogen levels, in % of air saturation, indicated by figures in body of graph.

以上から小形の魚ほど抵抗力が強いという一般的関係が認められそうであるが，これには例外もある．Text-fig. 23, A は飽和度が 200% に近い非常に高い窒素濃度の水中に おかれた．メダカの大，中及び小魚（体長，それぞれ28～31mm, 18～22mm, 6～12mm）の時間死亡率グラフである．これをみると大形魚と小形魚の死亡曲線はほぼ近似し，両者の抵抗力はあたかも同様にみえる．これに対し中形魚の抵抗力はそれらよりはるかに大きい．さらに小形魚（この場合，稚仔魚であるが）について注目すべきことは，供試魚中，体長 8mm 以下の初期の仔魚は22時間以内にすべて死んでいるが，それよりわずかながら大きいやや発育の進んだ10～12mm のものは大部分がそれ以後に死んでいることである．

これらの事実は，ごく初期から体長 20mm 位までは，体が大きくなるにつれて抵抗力が増すが，それ以後は成長につれて逆に減少することを示すようである．

孵化直後の体長 7mm 以下の仔魚をいくつかの濃度段階の窒素過飽和の水中においた場合の時間死亡率関係図が Fig. 23, B である．これら小魚は窒素濃度124%の場合でさえ40時間



Text-fig. 23. A. Survival times of *Oryzias latipes* of three different sizes at a nitrogen level of 198.8 % of air saturation. Oxygen, 77.6%; Water temperature, 23. 8°C. Size of fish, small; 8–12 mm in body length (open circle, < 8 mm; double circle, 8–10 mm; cross circle, 10–12 mm); medium, 18–20 mm (semi solid circle); large, 28–30 mm (solid cirle).
B. Survival times of fry of *Oryzias latipes* (<7 mm in body length) at various nitrogen levels. Nitrogen levels, in % of air saturation, indicated by figures in body of graph. Water temperature, 22. 5–26. 3°C; Oxygen concentration, 76. 5–91. 3%.

に30%が死んでおり，抵抗力ははなはだしく小さい．130%及び140%における半数死亡時間は34時間及び28時間と推定される．メダカの卵も高い窒素過飽和の水中に置いてみたが，200% 以上の場合にも正常に孵化した．しかし孵化直後にガス病に犯されることはいうまでもない．

これらの実験における死因を調べた結果，明らかになったことは小形及び中形魚では栓塞死はほとんど起ることがなく，死因は大部分腹部破裂であったことである．幼小魚では成魚に比べて皮膚や筋肉の結合組織は繊弱で弾性も乏しいであろう．したがって，体内に蓄積されるガスによって内部から加えられる圧に対する腹壁の抵抗は比較的弱く，そのため容易に膨脹し，また裂けることになるものと思われる．なお，稚仔魚で観察されたところでは，腹部膨脹の主因は鰾の異常膨脹である．一方，大形魚の主な死因，特に比較的早く死ぬもののそれはガス栓塞である．ガス栓塞は大形の魚ほど起りやすいらしい．結局，中等の大きさのものは二つの死因のいづれもが比較的起りにくい関係で最も抵抗力が強いことになると考えられよう．

一般に小形魚は大形魚より抵抗力が大きいと考えられることは既に述べきたったとおりであるが，徴候の発現についてみると小形の魚のほうがより低い濃度で，またより急速に現われることがある．たとえば，成体形ウナギがそれである (Text-fig. 21 参照). この場合，かりに徴候発現を規準にとると大小魚間の抵抗力ないしは感受性は異ったものとなる．

Table 1, 2 を改めてみるとフナ及びコイでは致死限界濃度は大小魚間で10%近くも相異するが，有害限界濃度にはそれほどの差はないし，また前述のように大形のメダカの致死限界濃度は非常に高いが，有害限界濃度は決して高いとはいえない．総体的にみると致死限界は魚種間の差が大きいが，有害限界は差が小さくなるのは，魚体の大きさの相異が皮膚，ある

Table 3. Summary of experimental conditions.

Species	Size of fish (Body length, cm)	Experimental number	Nitrogen concentration (% of air saturation)			Oxygen concentration (% of air saturation)		
			Mean	Standard deviation	Range	Mean	Standard deviation	Range
Carassius auratus	9~13	Ca-1	117.2	1.3	114.4~119.7	76.3	2.3	68.2~84.3
		2	122.8	1.4	118.8~125.2	72.4	2.6	66.3~80.1
		3	126.2	1.2	121.3~128.8	68.8	1.8	59.8~76.3
		4	133.3	2.1	124.4~136.0	68.7	3.3	58.6~76.3
		5	160.6	1.0	154.5~163.8	63.5	0.8	57.6~66.2
	3~5	Ca-1′	119.8	1.4	114.3~120.6	80.2	1.9	70.5~83.4
		2′	129.9	1.6	120.8~131.9	78.8	2.1	70.2~82.4
		3′	137.4	1.8	128.8~139.3	76.3	2.0	70.4~80.6
		4′	145.3	0.9	141.2~146.8	76.2	0.8	68.8~78.9
		5′	157.4	1.1	149.9~158.4	69.7	0.2	63.3~75.4
Oryzias latipes	2.6~3.0	O-1	118.3	1.0	116.3~120.5	82.4	2.1	77.3~89.6
		2	126.5	0.8	121.3~129.1	83.3	2.4	80.0~86.5
		3	130.2	1.3	124.2~132.0	78.8	2.5	73.5~83.4
		4	136.1	1.6	130.0~139.2	66.8	3.3	60.5~73.2
		5	140.7	1.4	134.5~143.7	70.2	2.2	62.3~74.7
		6	144.8	2.0	138.5~146.2	68.4	4.6	62.3~73.2
		7	152.3	2.2	148.8~153.5	66.3	0.9	60.7~74.1
		8	176.2	0.4	168.8~178.4	58.9	0.3	55.3~62.6
Anguilla japonica	30~36	E-3	114.4	1.0	112.4~118.3	70.8	1.8	62.5~72.3
	26~32	4	116.8	1.3	114.4~118.8	66.8	2.1	60.4~76.2
	24~32	5	120.3	1.1	115.5~122.4	61.1	1.9	54.3~66.4
	23~33	6	123.4	1.3	120.3~126.1	63.4	2.3	56.3~68.6
	24~35	7	125.6	1.7	120.2~128.6	67.2	3.3	60.3~72.4
	28~35	8	128.1	2.0	120.8~131.1	61.5	5.6	53.8~70.4
	26~36	10	130.3	1.2	123.8~133.0	63.6	2.8	56.5~69.6
	30~39	13	135.8	2.2	129.7~138.2	66.6	4.8	52.4~70.5
	26~42	14	139.6	3.8	130.6~142.3	61.6	10.4	48.4~68.2
	31~44	18	160.4	1.6	153.3~162.4	54.3	0.3	48.2~62.3
	33~40	22	181.6	0.6	172.5~183.6	48.5	0.2	43.1~50.6
	36~42	25	247.3	0.8	244.2~249.2	21.7	0.1	17.8~22.3
Cyprinus carpio	21~28	Cy-1	116.5	1.4	112.2~119.8	74.3	2.4	62.3~74.8
		2	124.2	1.8	118.8~126.6	72.8	2.6	66.3~75.4
		3	130.1	2.4	123.4~133.0	70.3	6.2	63.5~72.4
		4	160.3	1.6	152.3~164.7	70.1	1.8	66.7~75.4
	3~4	Cy-1′	121.4	2.0	116.5~124.4	66.8	3.3	60.2~76.3
		2′	130.2	1.8	125.3~132.4	63.2	1.8	58.7~66.2
		3′	136.8	3.1	130.3~138.2	61.4	7.2	47.4~65.9
		4′	145.1	1.9	137.1~146.3	63.5	1.9	54.3~68.4
		5′	166.5	2.2	159.6~167.5	53.2	2.0	38.9~54.4
Rhodeus ocellatus	2.8~3.4	R-1	120.6	1.1	114.3~124.1	80.1	0.8	70.1~83.4
		2	131.2	0.7	126.3~132.8	78.8	0.7	70.4~82.3
		3	136.8	2.3	129.7~139.4	70.4	2.4	66.0~84.6
		4	140.3	2.3	133.6~142.8	66.3	3.3	56.3~80.1
		5	144.2	3.6	138.4~149.4	68.8	4.0	55.7~78.8

† All fish survived the experimental period of 2 weeks. Figures enclosed with parentheses indicate the number of fish which showed signs of gas disease within the same period.

Water temperature (°C)			Number of fish employed	Remarks
Mean	Standard deviation	Range		
20.4	0.4	19.8～20.7	3	†
20.3	0.2	19.8～20.5		
19.8	0.3	19.6～20.2		
19.8	0.3	19.6～20.1		
20.5	0.1	20.0～20.7		
21.1	0.4	19.9～21.3	10	†
20.5	0.4	20.1～20.9		
20.1	0.3	19.8～20.4		
20.7	0.1	20.1～20.9		
21.2	0.1	20.6～21.4		
20.6	0.5	20.0～21.1	20	†
21.2	0.4	20.4～21.7		†(2)
21.1	0.5	20.3～21.8		†(9)
20.4	0.6	20.0～21.4		
20.8	1.0	20.1～21.8		
20.1	1.0	19.6～21.0		
19.8	0.9	19.3～20.7		
20.2	0.4	19.8～20.5		
19.9	0.3	19.2～20.4	6	†
27.2	0.4	25.6～28.2	6	†
19.2	0.2	18.9～19.8	5	†
19.7	0.2	19.2～20.3	5	†(2)
20.1	0.4	19.7～20.6	4	
19.9	0.6	19.2～20.4	6	
20.2	0.2	19.9～20.5	6	
19.6	0.8	19.2～20.7	6	
22.4	1.0	21.3～23.0	5	
21.4	0.2	20.6～22.4	5	
18.3	0.1	17.6～18.5	5	
20.2	0.1	19.2～20.3	3	
18.9	0.4	18.3～19.8	3	†
18.8	0.3	18.2～19.6		
19.3	0.3	19.0～19.5		
19.8	0.1	19.4～19.9		
18.6	0.6	18.1～19.4	5	†(1)
19.3	0.6	18.6～19.7		
20.1	0.3	19.8～20.2		
20.3	0.2	20.1～20.5		
19.7	0.1	19.6～20.0		
21.1	0.5	19.8～21.3	10	†
21.3	0.4	20.0～21.6		
20.7	0.8	20.2～21.0		
21.2	0.8	20.1～21.4		
21.0	0.7	20.3～21.2		

いは皮下組織内の異常ガス泡発生と，死因となる循環器管内のガス泡発生とに対する影響のし方が相異することによるためであろう．このことはまた，両者の発生機構に相異があることを意味するものであろう．

(III) ウナギの特異な徴候について

ガス病の最も普通の外部徴候は鰭の気疱と眼窩内ガス蓄積による眼球突出であるといってよい．このようにガスが泡発生しやすい場所がほぼ決っているということは面白いことである．これに関連して特に興味がもたれるのはウナギの徴候である．以下，その発生機構について多少検討してみた点を述べる．

(A) 頭部の瘤状隆起について

この異常は特にその発生する場所が頭部の特定の位置に限られるという点で発生機構に少なからぬ興味がもたれるものである．

(1) 症　　状

最初にその発生経過の要点を中等大のウナギ（体長30cm 位）が中等程度の過飽和窒素（飽和度130%程度）の水中におかれた場合を例にとって述べる．早い場合には数時間，遅くとも一昼夜位が経過すると，後頭部，眼の週辺，あるいは頰部の皮膚に小円形の‘ふくらみ’ができ始める．それらは次第に数と大きさを増し，数日ないし，一週間後には10数個から20個に達する（20を越えることは決してない）．‘ふくらみ’はあたかも‘瘤’と呼んでふさはしいような形状であって，しかも頭部に整然とならび，頭部の外観ははなはだ奇異なものとなる (Pl. 1, A).

この図にみられるような瘤状隆起も，また上述の発生過程も，最も典型的なものがあげられたわけであるが，色々の条件でその形状も発生過程も変ってくる．その条件の一つに魚の大きさがあげられる．一般に小形の魚では一つ一つの隆起が著しく発達し，相接し，また，

重なりあうほどになることもある．体長10 cm程度以下の幼魚では隆起の数は比較的少いが，一つ一つが非常に大きなものとなり，頭部皮膚全体が風船のようにふくらんでしまうことが多い．ふくらんだ皮膚は極度に薄くなり，ちょっとした衝撃で破れることも珍しくない (Pl. 1, B)．これに対し，大形魚ではあまり目立つ隆起はできない．いわゆる'下りウナギ'のように大形で肥満したものでは死ぬまで瘤らしい隆起が全くみられないことが多い．

窒素濃度が高いほど隆起の発生も急速であるのは当然のことであるが，その発達は皮膚組織の変形，変性を伴うものであるから，発達増大する速度はある限度以上にはなり得ない．したがって，致死時間の短い場合にはあまり大きい隆起はみられないのが普通である．ガス濃度が高いにもかかわらずよく長期生存するものに著しく発達した瘤状隆起がみられることになる．

(2) 減圧実験

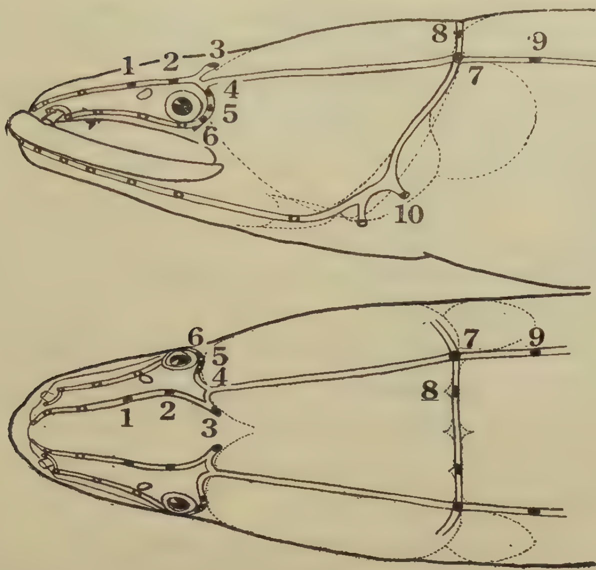
瘤状隆起発生に関連してつぎのような実験結果を得たことは興味が深い．魚に急激な減圧が働くとガス病と同様の異常が起ることは古く GORHAM (1899) によって示されている．同じことはウナギでも観察できた．大形吸引瓶になかば水をいれ，これにウナギをいれて真空ポンプを用いて上部の空気をぬき，急速に，たとえば10分以内に10 mmHg 程度にまで減圧すると，減圧を始めて数分ないし十数分後には瘤状隆起が頭部に生じ始める．但し，これはすべての場合にみられるとは限らない．また，あらかじめ鰓蓋の一部を切除した魚を用いて実験すると，鰓血管に多数のガス泡が発生することも観察できる．

いま，吸引瓶中に2%のウレタン溶液を水の代りにいれ，そこにウナギをいれてそれが麻睡してのち減圧してみた．興味深いことに，この場合は瘤状隆起の発生は全くみられない．繰返し実験を行い，この事実は確認された．この結果は，魚が活動していることが瘤状隆起発生にとって必要な条件であることを示すように思われるが，おそらく，呼吸運動における頭部筋の活動，口顎や鰓蓋などの運動が隆起形成に関係すると考えられる．この点は後に改めて触れる．

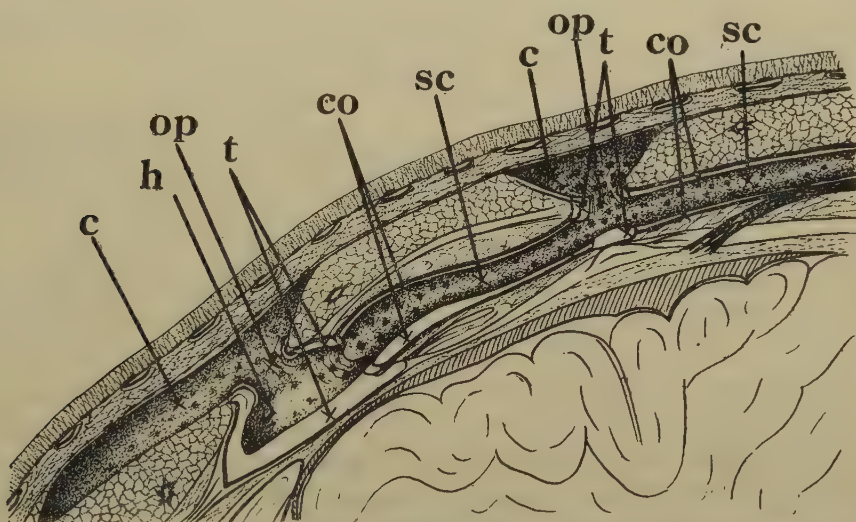
(3) 瘤状隆起の構造及びその発生位置と頭部側線管との関係

瘤状隆起の組織切片を作ってみると皮下脂肪層に一種の大きな空洞ができているのがみられる (Pl. 1, E)．また，この図から空洞下部の壁には一種の膜様の組織構造のあることが認められ，元来そこには何等かの空洞ないしは空洞類似の構造が存在するものであるように思われる．さらに空洞底には側線管の一部と思われる構造がみられ，しかもその上部は開いていて空洞と直接相通じているようにみえる．別に直接瘤状隆起を切開して空洞底をのぞくと，そこに一ないし数個の小孔の存在すること，その小孔は側線管に通ずるものであることが観察される．

この空洞と側線管の関係を一層明らかにするために側線管構造を多少調べてみた．ウナギ頭部側線管は頭骨と遊離した骨性小管，またはそれと結合した小管，一部の頭骨自身の中を走る管部及びそれら相互を連結する軟骨性の結節部とごく一部に存在する結合組織性の小管よりなっている．これら側線管自体には左右相称の合計52個の小孔が存在する．そのうち計32個は皮膚の開孔を経て外界に通じているのであるが，他の20個の小孔は，その上部の皮膚に開孔がなく外通していない．このような埋没孔は Preoperculum 上の一個を除きすべて軟骨性の結節部にある．Preoperculum 上のものはそれと結合した骨性管の分枝端にある．



Text-fig. 24. Distribution of lateral line canals and their pores in the head region of an eel. Circles show the pores communicating with exterior through openings in the skin. Solid circles indicated by figures 1–10 unilaterally, show the pores communicating with subcutaneous cavities.



Text-fig. 25. Vertical section of the supratemporal commissure and adjacent structures of the head of an eel, as seen from the posterior. c, subcutaneous cavity; sc, supratemporal commissure; co, canal ossicle; t, tuberosity; op, opening of the tuberosity; h, hypomandibular canal.

それら埋没孔の位置を模式的に描いたのが Text-fig. 24 である．

これらの孔は外通しないけれども，その直上の皮下に一種の小空洞が存在しそれに通じている．Supratemporal commissure 上部にある皮下空洞の構造を模式的に描いたのが Text-fig. 25 である．他の管上の空洞も大体同様の構造をもつ．この空洞は平常時は上層の皮膚

の陥没によって間隙がせばめられている．正常魚を注意して観察すると，後頭部や頬部の皮膚に小さいくぼみを認めることができるが，それがこの陥没にほかならない．

瘤状隆起の発生点はすべてこの空洞の存在する場所に限られ，それ以外の場所に生ずることは全くない．したがって発生数も 20 を越えることがないわけである．

このような観察から，瘤状隆起はそれらの皮下空洞内に集積されるガスによって空洞上部の皮膚が押上げられて生じたものと考えられよう．しかし，体液に溶けているガスの遊離，換言すれば気泡の発生が空洞そのものの中で起ったかどうかはわからない．病魚について観察するとガス泡は空洞内のみならず側線管の内部にも多数存在するものである．このガス泡は空洞内で発生したものが移動してきたものかもしれないし，逆にガス泡は最初側線管内で発生し，それが増大して空洞に集積されたとも考えられる．すでに述べたように体軀幹側線管で発泡は普通に起る．また頭部側線管でも，吻部に近い開孔ではガス泡の発生が外部からもよく認められる．要するに側線管内は発泡が起りやすい場所であるといえる．

(B) 鰭の気疱について

ウナギでは鰭の気疱は症状末期になって急速に且つ多数発生するのが特徴で，このような発生様式は他の魚種ではほとんどみられない．

症状末期に注目をひく一つの現象は，鰭，特に背鰭の鰭条が緊張し，鰭が拡げられることである．それ以前は概して鰭は伏せられている．この緊張は血行障害による酸素不足を，皮膚呼吸をより効果的にすることによって補うためのもののように思われる．遊離ガスは最初，鰭の基部に出現し，ついで急速に軟条後縁に沿って伸びてゆく (Pl. 1, C) この時期の魚を解剖すると遊離ガスは鰭基部体軀幹内の鰭挙屈筋間結組織内にも多量に存在するのが認められる．したがって，遊離は最初そこで起り，生じた気泡が増大して鰭組織内に伸び拡がってくるものと思われる．死んだとき，鰭の一部にしか気疱を生じていない死体を過飽和窒素を含まない水中に浸しておくとしばしば新たな気疱が上記のような過程に従って出現するが，この事実はこの考え方の妥当さを示すものであろう．鰭軟条後縁にそって伸長した糸状のガス泡は組織間隙を経て後方皮膚組織内に侵入し，そこに大きな空間を形成してゆく (Pl. 1, D). なお，これらのガス泡発生は血管とは全く直接的関係をもたない．但し飽和度 200% を越えるような高度の過飽和の場合には，ときに鰭毛細血管内に遊離ガスが発生することがある．

(1) 鰭の運動と気疱発生

鰭のなかでは胸鰭にガス泡は最も早期に発生する傾向がある．胸鰭は他の鰭と異り，魚が静止しているときも絶えず動かされているが，この運動が気泡の早期発生に関係があるように思われる．これに関連して次のような実験結果が得られたことは興味がある．

背鰭を基部から切り取って，数 cm の長さの鰭片を作り高度の窒素過飽和の水中に浸し絶えず動揺せしめておくと，しばしばその組織内に気泡が発生する．鰭片の両端をもって繰返し引張ったりゆるめたりすると発生は確実，且つ急速である．これに対し水中で静止している鰭片では発泡は比較的起り難い．組織の伸び縮みはたしかに発泡に影響するようである．鰭条挙屈筋間のガス泡発生の場合も，その筋の活動が関係するように思われる．

(2) 外傷と気疱発生

Table 4. Effects of wounds on progression of gas disease.

Kind of wound	Nitrogen level (% of air saturation)	Oxygen level (% of air saturation)	Water temperature (°C)		Latent period* of inidividual fish (hr)	Survival time of individual fish (hr)
Incised wound	131.3	71.5	18.6	Wounded fish	17, 60, 80	82, 130, 160
				Intact fish	140, 180, 240	150, 210, 260
Punctured wound	137.2	68.8	18.2	Wounded fish	24, 38, 72	42, 62, 96
				Intact fish	— 90, 110	72, 96, 120
Punctured wound and injection of a small amount of air	135.2	70.8	17.7	Wounded fish	6, 20, 72	24, 48, 80
				Intact fish	80, 120, 130	90, 155, 180

Fish used : *Anguilla japonica*, ranging in body length from 30～38cm.

* The time elapsing before vesicles of gas appear on the fins.

鰭気疱形成に関連して，いまひとつ注目される現象がある．ウナギの実験のさい，たまたま採集具で切傷をうけた魚が供試魚中にあった．それでは症状も非常に早く現われ，死もまた早く起った（この外傷魚の記録は前項の実験成績の部では除外した）．傷は症状を促進せしめるのであろうか？　この疑問に答えるために無傷な魚の胴部の一箇所に小さな切傷，または刺傷をあたえ，無傷魚を対照として窒素過飽和の水中においてみた．その結果をまとめたが Table 4 である．

表にみられるように傷をうけたもの，特に少量の空気を同時に体内に注入されたものでは気疱の発現も死も急速に起っている．この実験でさらに注目されたことは，傷をうけた魚では鰭のうちの傷に近接した部分にきわめて早期に気疱が発生することである．このことは傷は発泡と直接関係があることを示すようである．傷が発泡を促す機構であるが，おそらく傷ついた筋肉や結組織の強い収縮の結果と思われるのであるがこの点も後に譲る．

少量の空気注入が著しく死を促進せしめるのは，それが直接血管内に侵入して気泡核となるためであろう．この注入量がある限度を越えると血管系に侵入したガスがそれだけで栓塞を起すに至ることがある．フナではある限界以上の量を筋肉注射したのちガス含有量正常の水中に放置した場合，主要静脈，静脈竇，あるいは心臓などにガス泡の集積が起り魚は死ぬ．しかしこの場合気泡は鰓には決して出現しない．但し，ウナギでは同じ処理によっても栓塞死をきたすことはない．

(IV) 論　　議

一連の実験によって5種類の淡水魚におけるガス病と窒素濃度の関係を求め Tables 1,2 に掲げた値を得たわけであるが，前にも述べたように，実験条件の窒素濃度に若干の変動があったこと，供試魚数が比較的少いこと，実験窒素濃度の段階も必ずしも多くはない，特に限界濃度近辺のものが不足している場合もあることなどの諸理由から，得られた数値はせい

ぜい5％単位にまるめて窒素濃度を表現するのが安全であろう．結果を表現すると二週間に半数がガス病徴候を現わす窒素濃度は120～130％，同じ期間にほとんど大部分の魚に症状の現われることのない最高窒素濃度は115～120％となる．一週間についてみれば，いづれも5％ほど高い値となる．また，二週間に半数がガス病死する窒素濃度は抵抗力の弱いものでは120％，強いものでは140％とその間の開きは大きい．同じ期間に大部分が生残しうる最高窒素濃度はそれぞれ115％及び135％となる．一週間についてみると，やはり大体5％高い値となる．最も安全な最高窒素濃度，つまり比較的抵抗力の弱い魚が全く異常なく長期生存しうる最高窒素濃度は，したがって115％と考えてよい．

最初に述べたようにガス病と窒素濃度の関係についての従来の知見ははなはだ乏しく，数例の観察があるに止まる．

MARSH & GORHAM (1905) によると海産魚では140％で急速に死に127％で徐々に死ぬという．また淡水魚では110％を多少越えた場合にガス病症状をみ，120％を越えると致命的であると記されている．しかしガス濃度の測定値も少く，測定法にも不明の点があり，また飽和量にも疑問があってあまり信頼できない．RUCKER & HODGEBOOM (1953) はマス稚魚にとっては115％までがガス病を起す危険のない窒素量であると述べている．また，SHELFORD & ALLEE (1913) は水温を上昇せしめることによってガスが起ったことを述べているが，それによると120％でガス病が起ったことになる．これらの値はいずれも実験的に求められたものではなく作用期間も全く不明である．しかし，ここに得た値とそうかけはなれたものではないといえよう．

実験結果によると，メダカ稚仔魚でみられたような傷害死の場合を除けば，同じ魚種では幼小魚ほど抵抗力の大きいことが明らかにされた．この事実を念頭において魚種間の抵抗力の差をみると，メダカ，バラタナゴなどの抵抗力の大きいのは体が小さいためではないか，換言すれば，一般に小形魚は強い抵抗力をもつものではないかと考えられる．

この理由はいろいろと考えられるが，主として循環器管内の発泡が大形の魚ほど起りやすいことによるものであろう．

ガス病における循環系内の発泡の機構は減圧症の場合と同様と考えてよいと思うが，HARVEY et al. (1944 a, b) は減圧症における血管内の発泡は筋の収縮の結果として起ると述べている．筋の収縮によって血管壁に瞬間的に強くひっぱる力が働き，そこに強い陰圧が生成され，微小なガス泡―ガス核―が発生するという．

魚の静脈には弁がなく筋肉活動によって血液が送られることはないといわれるが，(VON SKRAMLIK, 1935)，また，血管が筋活動により圧迫されること，それによって血行が助けられることもありうる (MOTT, 1950)．したがって，魚の血管内発泡も同じ機構によると考えてよかろう．

このような機構であるとすると，筋活動が激しくなると，発泡も急激になることが考えられるが，事実，前報で明らかにしたように，魚が活発に運動する場合には致死時間は短縮される．同じく前報で摂餌が抵抗力を抵下せしめること，飢餓魚に比して正常に餌をとっている魚の抵抗力が小さいこと，また水温上昇は致死時間を早めることなどを報告し，その理由は，MARSH らの考えに従って，それらの条件に伴う体温上昇により体液のガス溶解度が低下するためであると考えた．しかし，其後著者はガス溶解度の低下ということは主要な要素ではないと考えるようになった．水温上昇や摂餌は魚の活動性を高め，飢餓はそれを低下せ

しめるであろうから，活動の程度如何が発泡に影響したと考えることも可能であり，むしろこのほうが妥当なように思われる．

前の問題にかえって，大形の魚ほど血管系内で発泡が起りやすいのは，おそらく大形の魚ほど筋や結組織の収縮力も強く，より大きい陰圧が成生されることにあるのであろう．なお，魚の活動の程度如何が症状進行に著しく影響するとすると，実験のさいには魚の活動を統一するか，何等かの方法でそれを記録しておかなければ結果は信頼性が薄くなる．この意味で本実験は欠陥があったことを認めざるを得ない．

上述のような筋あるいは結組織の収縮の発泡因としての重要性は皮膚，皮下の気泡発生の場合にも認められるようである．たとえばウナギ頭部の瘤状隆起について考えてみるに，この原因となるガス泡は側線管内，あるいはそれに連結する皮下空洞内に発生するものであるが，その発生には口顎あるいは鰓蓋の運動が必要条件である．それらの運動によって頭骨に結合した側線管，あるいは遊離して筋間に存在する骨性小管は動かされ，結節部は関節の働きをするものと考えられる．この場合，特に結節部の内壁には組織の伸縮がおこり，陰圧が成生されるのではないかと思われる．軀幹部の側線管内の発泡では体の屈曲運動が同様の効果をもつであろう．

ウナギの鰭気泡では最初鰭条挙屈筋間に発泡が起るのであるが，これは発泡前にみられる鰭条の緊張のための筋の収縮の結果と考えることができる．胴部に傷があるとそれに近い鰭部分に発泡が起りやすいが，これも傷部筋の異常収縮によって発泡が起り，それが発達し，あるいは移動して鰭に出現するものであろう．胸鰭に発泡しやすいのも不断の筋活動による陰圧成生度の大きい結果であろう．鰭片の実験からは鰭組織自体の内部に組織の伸縮により陰圧が生じることが暗示される．

発生したガス核が可視大の気泡に成長してゆくには，HARVEY et al. の指摘しているように，ガス圧が表面張力，体液のもつ力学的圧及び組織弾性による圧の和より大きいことが必要である．血圧や組織弾性はガス泡の成長に対する抵抗として働くので，その小さい場所で気泡発達は急速であるし，それらの小さい場所が近くにあればそこに移動し蓄積されてゆくであろう．組織抵抗の小さい場所といえば空洞や各種の腔所が考えられるが，事実そのような場所に異常ガス蓄積は起っている．同様の事実はカエルのガス病の場合にもみられた (EGUSA, 1954). 体組織未発達の稚魚のほうが成魚に比べて著しい気泡形成をみせることのあるのも組織抵抗の小さいことの結果であろう．

その他の魚種にみられる気泡発生も多くは陰圧生成と組織抵抗の点から説明できるようである．たとえば眼窩内の気泡発生も眼筋の活動とそれによる眼球の動きにより眼窩に陰圧が生ずるためであろう．眼球が比較的大きく，またよく眼球を動かす魚種ほど眼窩にガス泡が生じやすいように思われる．

(V) 総　　括

1) 魚のガス病と水中溶存過和飽窒素の量的関係を明らかにするためにフナ，コイ，メダカ，バラタナゴ及びウナギの 5 種の淡水魚を種々の濃度段階の過飽和窒素を含む水中におき，ガス病発生経過とそれによる死亡を観察し，その時間的記録をとった．

ガス病に対する感受性あるいは抵抗性は魚種によって，また，同一魚種でも成長段階及び体の大きさによって異り，一般に小形の魚ほど抵抗力の大きい傾向があるが，全体としては

二週間内に半数の魚にガス病徴候が起る窒素濃度は飽和度にして 120～130 %，同じ期間に半数が死ぬ濃度は 120～140 %の範囲に大体はいる．また，大部分の魚が全くガス病の徴候を呈することなく長期生存しうる窒素濃度の最高限界は 115%とみられる．なお，一週間の期間についての発症，致死濃度はいずれも約5%ほど高い．

大形魚が低抵抗性であること，換言すれば血管内で発泡が起りやすいことは，大形の魚ほど筋の収縮力が強いため血管内壁により大きい陰圧が生成されるためと思われる．

2） ガス病の特有の徴候である体表の気泡あるいは気疱は魚種によって発生しやすい場所や発生過程に特徴がある．なかでも興味をひくのはウナギのそれで，頭部側線管につながる皮下小空洞内にガスが蓄積し，頭部の一定の場所に瘤状の皮膚隆起が生ずる．鰭気疱も他魚種と異り，症状末期に発生が始まる．これらの病変の構造，発生過程の追究から．口顎，鰓蓋の運動，また鰭挙屈筋の活動が発泡に重要な関係をもつことが示された．それらの運動や活動により組織上面あるいは組織内に陰圧が生じ，それが発泡因となるのであろう．

(VI) SUMMARY

(1) In order to clarify the relations between 'gas disease' of fish and the degree of supersaturation of dissolved nitrogen in the medium water, samples of five species of fresh-water fish were exposed to flows of water containing relatively constant high concentrations of nitrogen, and the time taken from the initial exposure until visible signs of the disease appeared on the fish body and the survival time were recorded for individual fish. Experiments were performed at about 20 °C.

(2) Above a certain critical nitrogen level, symptoms characteristic of gas disease develop over the surface of the fish body, though being not necessarily followed by fatal lesions. This critical level is termed here the 'detrimental nitrogen limit'. With further increase in nitrogen concentration, a level is reached where the fish can no longer escape death from gas disease. This level is termed the 'lethal nitrogen limit'. These two limits were defined by determining following two nitrogen levels: the level at which just 50% of the fish developed symptoms of gas disease during the experimental period of two weeks, and the level which just failed to cause 50% mortality within the same period of time. Median latent period (the time that elapsed before gas disease was manifested by external symptoms) and median survival time for samples of fish exposed to various levels of nitrogen were also determined.

(3) Each species of fish affected by gas disease exhibited external symptoms more or less peculiar to itself. In the crucian carp (*Carassius auratus*) and the carp (*Cyprinus carpio*) the first indication of the disease was the formation of vesicles of gas in their fin membrane or the protrusion of the eyeballs caused by the accumulation of gas in their orbits. In the bitterling (*Rhodeus ocellatus*) gas blisters were formed on the fins. In the killifish (*Oryzias latipes*) the first noticeable sign of the disease was the distention of the abdomen owing to the accumulation of gas in the air-bladder, the intestine or the abdominal cavity, which produced considerable buoyancy so as to lift the body up to the surface of the water. In the eel (*Anguilla japonica*) the first indication of the disease was the development of several small swellings filled with gaseous content on the head.

(4) The immediate cause of death was usually asphyxiation from gas embolism in the circulatory system. But the killifish, especially the fry and young, died very often from the laceration in the abdominal wall, which was caused by an expansive pressure of the gas accumulated in the air-bladder and so forth.

(5) The detrimental nitrogen limit varied to some extent according to species and growth of fish, being estimated to be about 125% of air saturation for adult crucian carp and the eel, and about 130% for young crucian carp, young carp, the killifish and the bitterling.

(6) The lethal nitrogen limit differed considerably with species and growth of fish. The values obtained for the fish used were approximately: 120% for adult carp, 125% for adult crucian carp, 130% for eel and young carp, 135% for bitterling and young crucian carp, and a little over 140% for killifish.

(7) From these figures and some other experiments it was learned that smaller fish tended to be more tolerant and resistant to supersaturation of nitrogen than larger ones. It was also suggested that at nitrogen levels below 115% of air saturation almost every fish could survive indefinitely without showing any sign of gas disease.

(8) The ability of the fry of the killifish immediately after hatching to resist supersaturation of nitrogen was very low, but it increased gradually as development proceeded. This change appears to be due to an increasing elasticity and tenacity of tissues of the abdominal walls. The increase in resistance ended when fish attained a body length of about 2 cm and was replaced by a trend in the opposite direction, owing to changes in susceptibility to gas embolism.

(9) That large fish are less resistant to gas disease, in other words, they are more susceptible to gas embolism than smaller ones, is surmised to be due to stronger muscular activity in the former than in the latter. Because it is known that bubbles of gas occur in blood vessels as a result of the contraction of muscles between which blood vessels pass. The stronger muscular activity must be accompanied by a more active bubble formation in blood vessels.

(10) It is interesting to note that the 'swellings' on the head of the eel are restricted in their positions to develop. Anatomical studies showed that the eel have just twenty small subcutaneous cavities in its head, with which the lateral canals communicate directly by means of openings on their tuberosities. Under the condition of supersaturation of nitrogen, free gas is accumulated in these subcutaneous cavities and forces up the overlying integument, thus producing 'swellings'. Decompression experiments suggested that bubbles occur in these cavities or in the lateral canals as a result of the movement of jaws and opercula.

(11) Observations on the process of gas-blister formation in the fin of the eel showed that contraction of fin-muscles and tension of connective tissues between or around fin-muscles and of tissues of the fin itself have significant relations to the development of gas bubbles there.

(VII) 引　用　文　献

1) 江草周三. 1949. 淡水魚のガス病に関する二三の実験. 日本水産学会誌, **15**: 83-87.

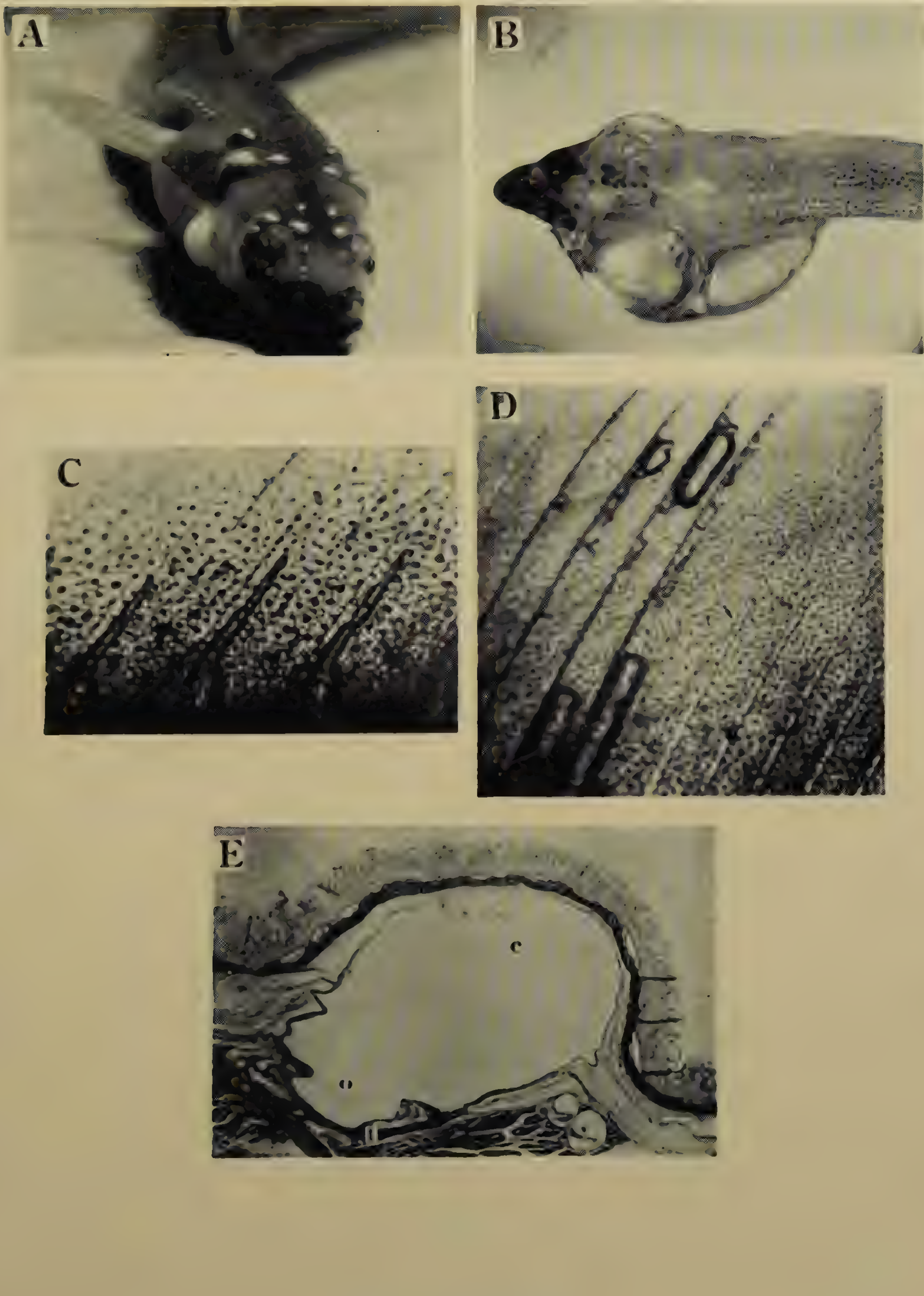
2) EGUSA, S. 1954. Morbidity of the frog due to the oversaturated air in the medium water. Proc. Japan Acad., **30** : 232–235.
3) GORHAM, F. O. 1899. The gas bubble disease in fishes and its cause. Bull. U. S. Fish Commission., **10** : 33–37.
4) HARVEY, E. N., D. K. BARNES, W. D. MCELROY, A. H. WHITELEY, D. C. PEASE and K. W. COOPER. 1944, a. Bubble formation in animals. I. Physical factors. J. Cell. Comp. Physiol., **24**: 1–22.
5) HARVEY, E. N., A. H. WHITELEY, W. D. MCELROY, D. C. PEASE and D. K. BARNES. 1944, b. Bubble formation in animals. II. Gas nuclei and their distribution in blood and tissues. J. Cell. Comp. Physiol., **24** : 23–34.
6) MARSH, M. C. and F. P. GORHAM. 1905. The gas disease in fishes. Rept. Bureau of Fisheries (Washington), **1904** : 343–376.
7) MAUCHA, R. 1932. Die Binnengeässer Bd. **12** : 62.
8) 松江吉行，江草周三，佐伯有常．1953．湧水の窒素ガス溶存量．日本水産学会誌，**19** : 439–444.
9) MOTT, J. C. 1950. Radiological observations on the cardiovascular system in *Anguilla anguilla*. J. Exp. Biol. **27** : 324–333.
10) RUCKER, R. R. and K. HODGEBOOM. 1953. Observations on gas-bubble disease of fish. Prog. Fish Culturist., **15** : 24–26.
11) SHELFORD, V. E. and W. C. ALLEE. 1913. The reactions of fishes to fishes to gradients of dissolved atmospheric gases. J. Exp. Zool. **14** : 207–266.
12) 菅原健．1941．化学実験学，第1部，**12**巻（地球化学）: 559–563.
13) von SKRAMLIK, E. 1935. Über den Kreislauf bei den Fischen. Ergeb. Biol., **2** : 1–130.

(VIII) Explanation of Plate 1

A, B. Heads of *Anguilla japonica* affected by gas disease, showing gaseous swellings. A, an adult form eel. B, an elver.

C, D. Dorsal fins of eels, showing process of the formation of gas blisters. A, an early stage, showing gas bubbles at the base of the fin ; B, the succeeding stage, showing expansion of the gas bubbles along fin-rays and invasion upon the posterior tissues of the fin membrane.

E. Vertical section of a 'swelling' developed on the occipital region of an eel. c, abnormally formed gas cavity ; t, tuberosity of the lateral canal ; o, opening of the tuberosity.



EGUSA : Gas Disease of Fish

サルボウの採苗とその育成に関する研究

日下部　台次郎

広島大学水畜産学部水産学科

Studies on the Culture of the Artificial Seeds of the Ark Shell *Anadara subcrenata* (LISCHKE)

Daijirô KUSAKABE

Department of Fisheries, Faculty of Fisheries and Animal Husbandry, Hiroshima University, Fukuyama

(Plates 1～3; Text-figs. 1～21; Tables 1～29)

(I) 緒言・研究の目的

サルボウは水産上，一般にはモガイと呼ばれ，分布の極めて広い，内湾性の二枚貝で，産業的にも重要な貝類である．漢字では猿頬又は鮂蜆と書く．本種の動物学上の位置は次の如く，Mollusca—Pelecypoda—Prionodesmacea—Taxodonta—Arcidae—*Anadara* リウキュウサルボウ属の1種で，学名 *Anadara subcrenata* (LISCHKE) である．日本沿海の *Anadara* に属する種類は黒田(1930)によると，化石6種，現生種11種（朝鮮・台湾の種類を除く）であるが，吉良(1946)は14種を挙げている．波部(1951)によると，現生種は9種である．

サルボウの近縁で産業的に主要なものは次の3種である．

Anadara granosa bisenensis S. & R.　ハイガイ
A. *broughtonii* (SCHRENCK)　アカガイ
A. *nipponensis* (PILSBRY)　マルサルボウ

金丸(1930)の日本貝類学史によると，今より248年前，既にアカガイとサルボウは区別さ

Table 1. Prefectural production of the ark shell. Unit : 1000*Kan* (=3750kg)

Month \ Prefecture	Chiba	Tokyo	Ôsaka	Hyôgo	Okaya-ma	Hiro-shima	Ôita	Fukuoka	Saga
1955 Jan.	—	83	5	1	44	11	—	—	55
〃 Feb.	—	69	18	—	42	3	—	—	48
〃 Mar.	—	85	28	—	82	—	—	—	88
〃 Apr.	—	140	26	—	—	—	—	—	128
〃 May	—	48	13	—	—	—	—	—	37
〃 Jun.	—	18	—	—	—	—	—	—	70
〃 Jul.	—	2	—	—	—	—	—	—	8
〃 Aug.	—	—	2	—	—	—	—	—	7
〃 Sept.	—	40	2	—	—	—	—	—	14
〃 Oct.	3	38	10	—	16	10	—	1	22
〃 Nov.	6	46	11	—	15	25	—	—	22
〃 Dec.	7	47	41	—	92	18	—	8	30
Total	16	616	156	1	291	67	—	9	529
1956 Jan.	3	32	17	—	104	35	—	77	28
〃 Feb.	1	26	48	—	106	17	—	92	65
〃 Mar.	2	25	50	—	123	6	—	268	51
〃 Apr.	4	50	7	—	51	—	—	667	82
〃 May	5	44	8	—	—	—	—	670	143
〃 Jun.	1	4	8	—	—	—	—	502	107
〃 Jul.	2	—	—	—	—	—	—	609	100
〃 Aug.	2	58	1	—	—	—	—	638	31
〃 Sept.	185	151	5	—	5	—	—	275	22
〃 Oct.	9	124	18	—	5	—	—	291	84
〃 Nov.	73	101	23	2	9	2	—	273	101
〃 Dec.	70	133	143	2	97	29	—	302	91
Total	357	748	328	4	500	89	—	4,664	905
1957 Jan.	111	75	80	21	70	17	2	239	118
〃 Feb.	177	76	115	24	85	5	41	145	130
〃 Mar.	217	92	84	20	83	—	30	243	458
〃 Apr.	46	81	45	1	75	—	5	289	470
〃 May	103	191	35	1	—	—	—	525	272
〃 Jun.	161	215	17	—	—	—	—	455	245
〃 Jul.	100	181	4	—	—	—	—	317	123
〃 Aug.	89	194	2	—	—	—	—	475	26
〃 Sept.	42	231	—	—	—	—	—	291	13
〃 Oct.	162	252	125	—	3	8	—	154	23
〃 Nov.	231	261	124	—	6	20	—	130	55
〃 Dec.	148	258	113	—	72	35	—	169	70
Total	1,587	2,107	744	67	394	85	78	3,432	2,003
1958 Jan.	168	260	68	3	69	13	41	202	85
〃 Feb.	349	218	66	6	83	23	20	190	85
〃 Mar.	421	249	118	6	74	25	32	238	144
〃 Apr.	2,971	524	347	11	131	15	25	1,993	820
〃 May	3,400	546	383	1	—	3	—	2,436	2,329
〃 Jun.	2,161	479	299	—	—	—	—	2,503	472
〃 Jul.	2,446	499	95	—	—	—	—	1,466	418
〃 Aug.	2,151	539	14	—	—	—	—	2,167	57
〃 Sept.	1,382	2,520	1	—	—	—	—	1,652	87
〃 Oct.	1,749	4,124	—	—	1	93	—	710	236
〃 Nov.	929	1,643	53	—	24	43	—	728	939
〃 Dec.	897	1,668	99	—	402	126	—	1,352	1,138
Total	19,024	13,269	1,543	27	784	341	118	15,637	6,810

Source: Statistical Monthly News of Fisheries by Statistics and Survey Division of Ministry

Naga-saki	Kuma-moto	Shimane	Others	Total
—	—	19	2	220
14	—	8	3	205
—	—	9	2	294
—	—	28	5	327
—	—	—	3	101
—	—	—	1	89
—	—	—	1	11
—	—	6	1	16
—	—	45	2	103
—	—	51	4	155
9	—	98	5	237
9	—	160	4	416
32	—	424	33	2,174
18	—	95	5	414
17	—	64	5	441
14	—	38	6	583
1	—	18	4	884
—	—	3	4	877
1	—	—	2	625
2	—	—	1	714
8	—	—	3	741
—	—	16	—	659
—	—	25	2	558
5	—	58	—	647
18	—	70	6	961
84	—	387	38	8,104
8	—	41	6	788
4	—	25	3	830
3	—	16	6	1,252
5	17	14	5	1,053
3	—	7	2	1,139
2	—	—	3	1,098
1	—	—	3	729
6	—	—	2	794
—	—	15	3	595
3	—	23	3	756
—	—	15	4	846
8	—	54	4	931
43	17	210	44	10,811
1	—	48	7	965
—	—	37	5	1,082
—	—	16	4	1,327
—	—	12	4	6,853
3	10	2	4	9,117
6	9	—	4	5,933
13	11	—	4	4,952
2	20	17	4	4,971
4	17	27	3	5,693
—	—	81	5	6,999
—	—	63	4	4,426
—	—	105	5	5,792
29	67	408	53	58,110

of Agriculture and Forestry, Japan.

れ，寺島良安は，和漢三才図会に，"猿頬一名馬ノ甲蚶之小者而自此一種也殼円厚溝亦深粗"と述べている．更に，藤川三溪著，水産図解には，蚶（アカガイ）・蝍蜆（サルボウ）・老伏（ハイガイ）・藻蛤（モガイ）の4種を区別しているという．

1. 方　言：—各地夫々，呼称を異にするのを以て見ても，その分布が広く，産業的にも重要な点がうかがえる．

コアカ又はサルボウ　東京湾

チンミ・チミ・ホンチンミ　伊勢湾・三河湾・大阪湾

モゲエ・モガイ（藻貝）岡山・広島

ミロクガイ・ウバガイ（味六貝）　九州

アカガイ（赤貝・魁蛤）　中海・佐渡

チガイ（血貝）　京都久美浜湾

ピジョゲ（피조개・雀蛤）・シャゴマク（새꼬막・重庫莫）　朝鮮

モウガ（毛蛤）・モウガズ（毛蛤子）　関東州

麻蚶子・毛蚶・藻魚　中共

2. 分　布：—サルボウは *Anadara* 属中，最も分布範囲の広い種類で，その分布は太平洋沿岸では青森県以南，日本海沿岸では新潟県以南で，沖縄，台湾，朝鮮，中共等にも及ぶ．我国に於ける主要な産地は東京湾・大阪湾・笠岡湾・有明海・豊前海・中海等である(Text-fig. 1参照)．

3. 産　額：—サルボウは天然発生による豊凶の差の極めて大きな種類で，我国では500万貫前後の生産が普通であるが，Table 1 府県別生産額に見るように，1955年，218万貫なのに，1958年には5811万貫を示し近年稀な生産を挙げている．其産地は，農林統計によると，東京，千葉，福岡，佐賀，島根，大阪を主とし，岡山，広島，兵庫，大分，長崎，熊本等の諸県である．

4. 研究の目的：—サルボウは後に述べるように，その仔虫は浮游期を経て，他物に附着す



Text-fig. 1. Principal production centers of the ark shell.
T: Tokyo Bay ; O: Osaka Bay ; K: Kasaoka Bay ;
A: Ariake Bay ; B: Buzen Bay ; N: Nakanoumi.

るので，人工採苗が可能であることが，試験の結果判った．時恰も今期事変中であり，国家的食糧増産の要望により急速にサルボウの人工採苗を産業化し，その種苗を全国に配給して増産を計るべく企図された．1942年之が産業化試験に関する経費予算の成立を見たので，主として筆者が之を担当して研究に従った．本稿はその研究を基にし，その後筆者の行った研究を総括し取纒めたものである．本稿を草するに当り，終始御懇篤な御指導を頂いた藤森三郎技師に，共に協力研究に従った川尻稔，田中小治郎，徳永英松，故畑久三の諸氏に，又取纒について種々御助言を賜った内田恵太郎，田内森三郎，花岡資，大島泰雄の諸先生に謝意を表する．なお，水野復一郎氏から参考資料を頂き，図版の浄書は遠部卓氏の労を煩した．以上の方々に厚く感謝の意を表する．

(II) 生 態・研 究 史

1. **形態**：一貝殼は，ほぼ四辺形をなし膨れ，殼頂から左右両殼を結ぶ蝶番線に，垂直の方向に走る30条前後(29～32)の放射肋がある．(Plate 1, Fig. 1 参照)．特に，左殼片の殼頂に近い放射肋には著しい顆粒状の結節がある．肋幅は肋間溝とほぼ等しい．殼の表面は褐色の有毛殼皮を被っているが，その殼皮は脱落し易く，老成貝では部分的に剝れている場合が多い．なお *Scapharca* の貝の特徴の一つとして右殼は左殼より小形であるが，サルボウではこの点が頗る明瞭で，腹縁部で右殼は左殼の内側に喰い違っている．

放射肋の数が，アカガイでは42～43，ハイガイでは17～18であるから，その数でサルボウはこれらの二種と容易に区別される．マルサルボウはサルボウと放射肋の数がほぼ等しいので，これでは区別できないが，前者は殼頂が蝶番線の中央から膨れ，両殼は丸く膨れ，整形で，顕著な有毛殼皮をもつが，サルボウでは殼頂が蝶番線の中央からやや前端部に片寄りに膨れ，両殼は脹らみが少く，後部が伸びて形がゆがみ不整形であることから，区別ができる．またサルボウは剝身として，アカガイ（特に罐詰として）の名称のもとに販売される

が，外套膜の縁辺に放射肋と同数の凹凸があるので，その数を算えて，真のアカガイと容易に区別することができる．サルボウの老成したものは殻長7.5cm；殻高6.0cm；殻幅5.5cmに及ぶものがある．

2. 棲息場所：—サルボウの棲息地は一般に内湾の浅海で，アマモ *Zostera marina* の繁茂する比較的波静かな海域で，その底質は泥又は砂泥であるが，特に流れの早い澪筋に多く棲息する．サルボウはアサリやハマグリのように，水管を持っていないので，地表に近く足の基部から分泌する足糸で砂粒に固着し，浅く埋って棲息している．垂直分布は，干潮時少し露出する所から水深10mの所に及ぶが，普通には水深1～7mである．

棲息場所の海水塩分条件は，かなり広いようであるが，σ_{15} 24以上になると夏期産卵期に，養成貝の20～30％程度斃死することがあるし，島根県中海では，浮游仔虫の分布が，σ_{15} 18～22のところに多いことから考えて，この範囲の塩分条件が，その棲息に適していると考えられる．

3. 産卵期：—場所によりまた年により多少の変化はあるが，藤森（1929），田中（1954）が述べているように，産卵期は，7月上旬～9月中旬で，その盛期は7月中旬～8月下旬である．産卵は海底の水温が，次第に上昇して25°C前後になった時に開始され，その盛期は27°C前後に当る．1955年夏，笠岡湾に於て調査した所によると，サルボウの天然放卵は朔又は望の大潮1～3日前の沿岸水温の急上昇により起り，大潮毎に数回産卵が行なわれることが判った．従って予め産卵を予知することができる．

4. 発　生：—本種は雌雄異体で，卵巣は美しい朱色，精巣は乳白色を呈する．人工受精が困難であるので，水温を上昇して産卵誘発によって放卵したものについて観察した経過は次のようである．1947年7月20日6時，島根県中海の荒島村地先，水深5.5mから，桁網により採取した親貝は，個々に木綿袋に入れ，海水に湿して蒸発熱を利用し温度を下げ，注意して内海区水産研究所笠岡支所に持ち帰った．これを硝子水槽（直径23cm；深さ11.5cm；容積5L；水温26.8°C；Cl 15.39‰）に17^h36^m収容した．海水に収容後31分，18^h07^mに放卵を開始，13分間連続放卵し，18^h20^m中止，休止2分の後再び放卵し5分間連続し，18^h27^m終了した．鹹度を下げ，温度を上昇して産卵誘発による放卵実験は，その後数年繰返し行ったが，大体同様な経過で，3～5分間連続放卵し，2～3分休止し，再び放卵し，20分前後で産卵を終る．母貝は殻を平時より稍広く開け，噴水口から1mm前後の太さで10～12cmの高さに卵を噴出する．精虫もまた同様に，細い筋をなして噴出する．卵は淡紅色で，体外に出ると吸水して球形となり，その直径は50～60μである．1回の産卵数は250～300万である（母貝の大さ40×34×28mm）．精虫は頗る活発で全長36～38μである．発生の速さは水温によって相違するが，その経過はTable 2の通りである．（Plate 1, Figs. 2～5参照）．

即ち水温26～27°Cでは，受精後17～18時間で貝殻完成し，D状のVeligerはVelumにより活発に游泳する．IMAI, T. & HATANAKA, M. (1949) の方法により培養した *Monas* sp. を与えて，飼育すると，Umboを下にし上から見ると右廻りに旋回しながら，上昇し，水面に達するとVelumを引き込め，自重で下降し，また再び，Velumを出し上昇し，これを繰返して泳いでいる．このようにして4～5日すると，殻に黄色の色素を生じサルボウの仔虫としての特色があらわれる．この時期に発育の段階に於ける一危期があり，著しく歩減りを生ずる．この危期を脱した仔虫は受精後一週間でUmboが脹らみ，Umbo stageとな

Table 2. Early development of *Anadara subcrenata* (LISCHKE).

After Fertilization		Developmental stage
Hours	Minutes	
0	10	First polar body extruded.
0	15	Second polar body extruded.
0	30	First cleavage.
0	50	Second cleavage.
2	0	Morula stage.
4	0	Embryo begins to rotate.
4	30	Gastrula stage.
5	30	Lively rotation.
6	30	Trochophore stage.
11	30	Shell developing.
14	30	Shell incomplete.
16	0	Abnormal larval swimming.
17	30	Shell complete, normal larval swimming.

Remarks: Shell length ♀ 33. 2m.m. ♂ 29. 6m.m.
Water temp. 27. 5～25. 6°C ; σ_{15} 20. 18
Fertilized at 12^h30^m, 13th Sept. 1955.

り，2週間で Full-grown stage となる．その大さは殻長290μ, 殻高 210μ である．この附着時期に達した仔虫は吉田（1937）も記しているように，次の特徴により他の貝と容易に識別することができる (Plate 1, Figs. 5～6 参照).

（1） 大さは殻長 280～300μ; 殻高 200～220μ.

（2） 殻は一様に黄色，特別な色彩や斑点がない.

（3） 殻は著しく前後に長く，殻頂部は大きく膨れ，前縁は後縁に比してやや鋭く弧形を呈しているが，その差は僅かである.

（4） 蝶番には微小な欠刻がある.

（5） 殻頂を中心として10条内外の同心線があり，線間隔は広い.

（6） 前後の肉柱は明瞭である.

（7） 軟体部の前端には Velum があり，その後方に口及び鰓が明瞭に認められる.

附着時期に達した仔虫は Velum が次第に退化し，体重が増して，底層に多く分布するようになり，ついに附着生活に移る．初めは足を伸長して，体を匍匐前進させ，附着物（木・竹・石・海藻等）の表面を這い廻り，附着場所を撰び，足糸を分泌して附着する.

5. 稚 貝：一附着生活に入った稚貝は原殻と異り，成貝と同様の炭酸石灰を主成分とする灰白色の貝殻を分泌して稚貝となる．附着後の貝殻の成長は極めて速かで，初め殻高に比較して殻長が甚しく大きかったのが，殻高ののびが早く，その比が次第に縮って行く．放射

肋は殼長0.4mm 前後から明瞭となり，次第にその数が増加して，殼長 1mm 前後になると約 30 条を数えることができ，明らかにサルボウの稚貝と判るようになる(Plate 1, Fig. 8 参照)．稚貝は附着物から離れて地上に下りても，初めは土中に潜入せず，石塊や死貝殼に附着して生活する．この稚貝期には成長するに従い，自ら足糸を切って移動し，凹所に密集する性質がある．殼長 2～3mm の稚貝を，附着物から無理に離すと盛に這い廻り，やがて静止し，一分間前後で足糸を分泌して附着する．静止してから間もなくスポイトで強い水流を送っても，稚貝は離れることがない（日下部・北森1949)．

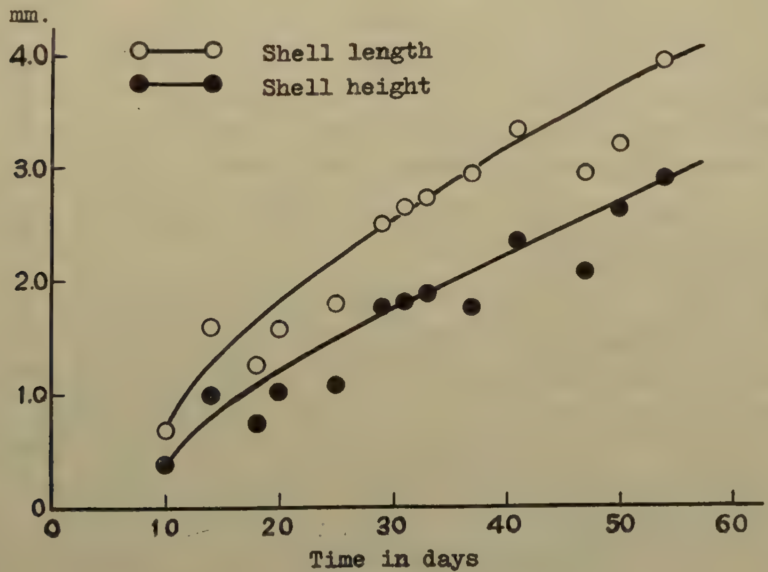
土中に潜入して幼貝の生活に移るときの大さは，殼長 10～15mm で附着生活に入ってから 3～6 ヶ月後である．土中に潜入しても，泥中の砂粒等の固形物に足糸で附着している．この生活に移ると殼幅は次第に脹らみ，稚貝期を脱したことが判断できる．なお，成貝は余り移動しないが，風波又は水質の悪変等，環境条件が悪化すると移動することがある．

6. 成　長：一サルボウは満2ヶ年で，親貝となり，その寿命は10年余である．その成長の一例を示すと，次のようになる．

1943年8月3日，海況観測の結果，多数の Full-grown veliger の出現を見たので，翌4日，棕梠製採苗器を金網籠（縦45 cm; 横60 cm; 高さ75cm, 0.2m³）に入れ，採苗し，附着した稚貝を，隔日毎にとりあげ測定した．Table 3 及び Text-fig. 2 に示す様に，附着後10日で，殼長 0.8mm; 20日で 1.6mm; 30日で2.5mm; 40日で3mm; 50日で 3.5mm; 60日で 4mm に達した．

普通の採苗器で採取したものは，潮通の良い関係かこれよりやや速かで，附着後 2 ヶ月で 5～8mmに達する．また附着器から脱落して，土中生活に移る大さは10～15mm であるが，附着場所が強固で安定したところに附着しているものは，殼長 20mm になっても離脱しない場合があり，不安定の場合はこれより小さくとも離脱する．

成長は5～6月，水温18～23°Cの時季が，最も良好であり，年間の成長を示すと，満 1 年



Text-fig. 2. Growth of artificially collected spat.

Table 3. Growth of artificially collected spat.

Date of Measuring	Shell length mm			Shell height mm		
	Maximum	Minimum	Average	Maximum	Minimum	Average
Aug. 13	0.99	0.35	0.68	0.54	0.19	0.38
〃 17	2.00	1.10	1.58	1.40	0.60	0.98
〃 21	2.20	0.39	1.25	1.60	0.23	0.73
〃 23	2.10	1.10	1.56	1.60	0.70	1.01
〃 28	2.90	1.00	1.78	1.90	0.40	1.06
Sept. 1	3.80	1.50	2.50	2.60	1.00	1.75
〃 3	4.70	1.30	2.65	3.40	0.90	1.80
〃 5	4.50	1.70	2.73	3.20	1.10	1.87
〃 9	4.90	1.80	2.93	3.70	1.10	1.75
〃 13	6.00	1.60	3.33	4.30	1.10	2.35
〃 19	5.40	1.90	2.95	4.10	1.10	2.06
〃 22	6.30	1.90	3.20	4.90	1.10	2.62
〃 26	7.40	1.80	3.96	5.90	1.00	2.90

Remarks: Spat attached to the collector on August 4, 1943.

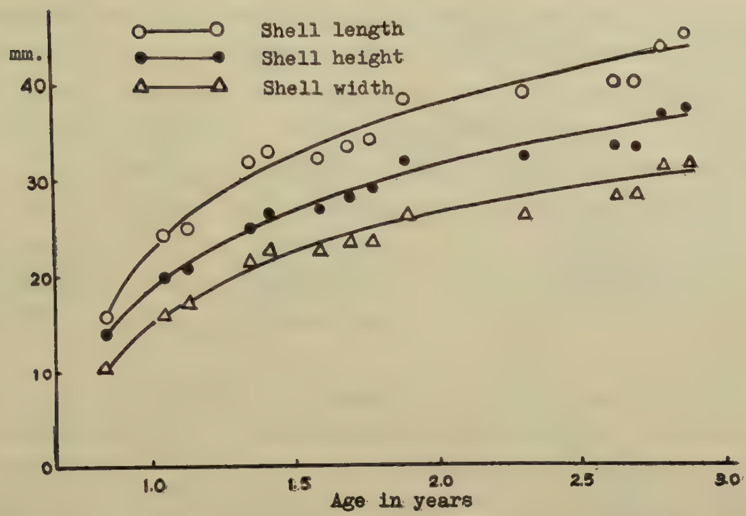
Table 4. Growth of the ark shell during "seed" and adult stages.

Date of Measuring	Shell measurements mm			
	Age in months	Shell length	Shell height	Shell width
'44 Jun. 3	10.0	15.8	14.0	10.3
〃 Aug. 17	12.5	24.1	19.9	16.1
〃 Sept. 20	13.5	25.0	20.7	17.0
〃 Dec. 4	16.0	31.9	25.1	21.6
〃 Dec. 31	17.0	33.0	26.3	22.6
'45 Mar. 5	20.0	32.4	26.9	22.4
〃 Apr. 12	21.5	33.5	28.1	23.3
〃 May 10	22.0	34.1	29.0	23.3
〃 Jun. 28	23.0	38.4	32.1	26.2
〃 Nov. 26	28.0	39.1	32.5	26.1
'46 Mar. 19	32.5	40.2	33.4	28.2
〃 Apr. 16	33.5	40.2	33.3	28.4
〃 May 17	34.5	43.9	36.6	31.2
〃 Jun. 19	35.5	45.3	37.4	31.6

Remarks : Spat attached to the collector on August 4, 1943.

で殻長 23 mm; 1.5 年で 32 mm; 2 年で 37 mm; 2.5 年で 42 mm; 3年で 46 mm; となる (Table 4, 及び Text-fig. 3 参照).

7. 研究史: —サルボウは Veliger から Spat に移る際，足糸で他物に附着する性質があるので，人工的に採苗が可能であると考える人は少くなかった．最初にこれに着目して研究を行ったのは，当時福岡県水産試験場有明海出張所に勤務中の藤森三郎技師である．福岡県水産試験場報告（1917～1927）によると，大正5年から大正10年まで継続し，更に大正14年から昭和3年までサルボウの自然発生の多い干潟に，棕梠皮又は粗朶の採苗器を設置し試験した．その結果採苗が可能であることを確めたが，附着数少く経済的に成功するに至らなかった．佐賀県水産試験場報告（1916～1925）によると，大正6年から大正13年まで姉帯定助技師が，岡山県水産試験場報告（1921～1923）によると，建部豪技師が採苗試験を行っているが，何れも前同様，経済的に成功するに至らなかった．以上は何れも干潟に於け



Text-fig. 3. Growth of the ark shell during "seed" and adult stages.

る採苗であるが，有明海ではコケガラス（方言カラスガイ）*Modiolus metcalfei* (HANLEY) 又はスゴカイ *Diopatra neapolitana* DELLE CHIAJE 等を天然の Collector として，相当量の自然発生を見るので，これにヒントを得て試験が行われたのである．

一方，中海においてはサルボウ（方言アカガイ）の天然種苗採取の際，オゴノリ（*Gracilaria*）等に多数附着したものがとれるので，（375gr のオゴノリに1359粒サルボウが附着していた例がある．Jan. 20, 1951日下部調）当業者の中で，人工採苗を試みたものがあったが，やはり成功するに至らなかった．1934～35年9月，当時朝鮮総督府水産試験場に在職中の，吉田裕技師はサルボウ浮游仔虫研究の為，中海に来り，竹の支柱に稚貝の多数附着するのを目撃して採苗の可能なるに気付き，島根県水産課の永川保雄技師に注意した．永川技師は棕梠皮を竹に巻き，建設試験して，1937年に人工採苗の可能なることを立証した．其後，中海水産会会長吉村清馬技師も人工採苗の有望なのに着目し，島根県水産課の藤田四郎技師に勧めて，1939年夏，赤汐調査を兼ねて，農林省水産講習所学生，島森正次，豊福敏隆の両氏を招き，人工採苗の試験をした．藤田・島森・豊福（1940）によると，A，馬潟沖，B，大海崎沖，C，大根島地先，D，論田沖，E，安来沖の5地点に於て，棕梠皮，松の小枝，粗朶（ウラジロ），藁等を建設試験した．その結果，附着良好の地点は，親貝が多数養殖してある地区を離れた場所であり，特に大根島の南部東側のC点に附着が良く，水深 7.9m の所で底から 1～2m の所であった．稚貝の成長度は附着後7～10日で，2mm，20日で 4mm の大さとなり，脱落は 5mm 以上のもので，1mm 以下では脱落の徴候なく，3mm になるとやや目立って脱落する等の多くの点が明かとなった．

農林省水産試験場笠岡分場では，水野復一郎技師が中海の藻貝採苗調査を行い，その結果頗る有望なることを確めたので，1940年，前記中海水産会と連絡して，棕梠皮等を用いて採苗試験を行い，ますます経済的に有望なことを知った．農林省水産試験場浅海養殖主任の藤森三郎技師は本事業確立のため，徹底的に研究の必要を唱道し，春日信市場長と図り，1941年，島根県能義郡荒島村に民家を借り，荒島試験地を設け，笠岡分場勤務の水野復一郎・田

中小治郎・徳永英松の諸氏が採苗期間中，荒島に出張研究を行った．更に藤森技師は本研究を一層強化促進するため諸般の企画を行ったが，その理由とするところは——サルボウの養育適地は全国に亘り頗る広大であるが，これに放養すべき種苗の供給は極めて少量である．人工採苗法によって，中海の利用を図るならば，種苗を大量に生産し得る見込充分である．しかも中海以外には現在見込地がない．従って中海は我国における唯一のサルボウ採苗地で，正に水産増殖上国宝的存在というべきである．よって，この適地を全面的に開発して採苗を行い，これを全国に配給してサルボウの大増産を企図すべきである．なお，将来は完全利用のために，本事業は国家管理のもとに行う必要がある．国家はこの方針の下に本研究の促進を計るべきだ——というにあった．その結果，1942年に，サルボウ採苗産業化試験に関する経費予算の成立を見るに至った．

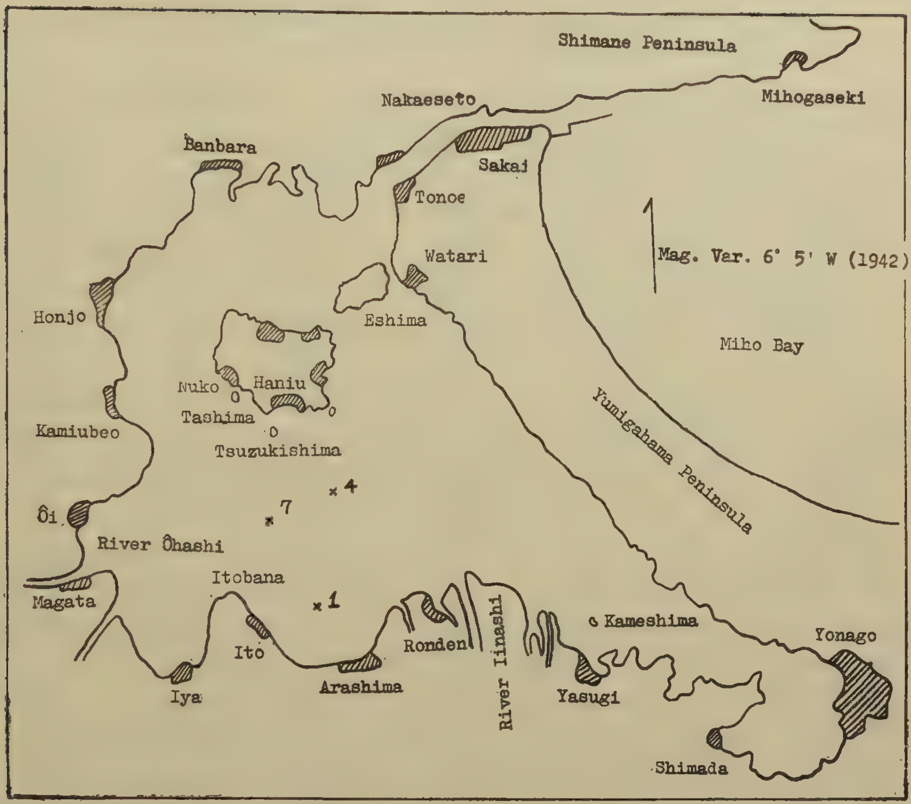
筆者は藤森技師の指導の下に1942年夏，100余日，中海に出張して，前記，田中・徳永氏等と共に研究に従事したが，3ヶ月の後，笠岡分場に転勤して以来，更に本研究に没頭し，採苗方法より進んで採苗したものの移殖，養育方法の研究に及び，1945年に至り，遂に1943年大量採苗のものが育成採取されて，経済的に人工採苗が完成した．なお，この間1944年には川尻稔技師が，1945年には故畑久三氏が研究に参加された．その後，笠岡市神島内漁業協同組合長，伊藤文吉氏等の努力によって，大量の種苗養殖が実を結び，神島内，横島，笠岡，深安，福山，田尻等の漁業協同組合地先，笠岡湾に於て，毎年50万貫3,000万円の生産を挙ぐる産業に成長した．今日の成果を挙ぐるに至るまでには，中海赤貝種苗組合の努力並に島根県水産試験場中海分場の指導の賜であるが，更に産業化創始時代に米沢政雄氏・水産興業及び第一水産工業会社が払った犠牲も少くなかったことを見落すことは出来ない．

(III) 中海の性状

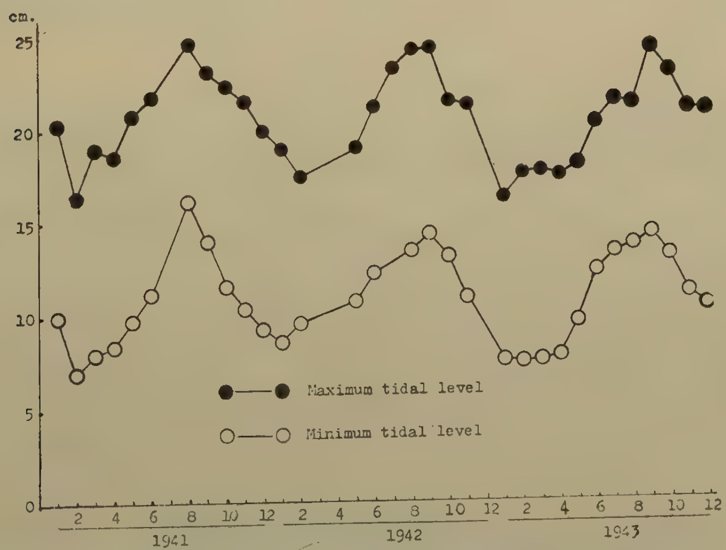
中海は Text-fig. 4 の如く，島根半島と弓ヶ浜半島とで抱れた湖のような内海で，周囲8.5 km, 面積 152 km² で，中央北部に大根島と江島とがある．幅 200～400m, 長さ 7 km, 深さ 7m の中江瀬戸で美保湾に通じている．水深は浅く，平均4.6m で2m 以浅が約1/4, 2～8m が全面積の 3/4 を占めている．注入河川の中，大橋川・意宇川・飯梨川は常時流入するが，伯田川・吉田川・田瀬川は降雨時のみ流入する．日本海が干満の差が30cm 内外である関係上，潮汐による水の交流は少く，気圧・風向・風力に左右される場合が多い．宍道湖の淡水は大橋川により表層流をなして大根島の南を東に流れ，江島と大根島との間を通って中江瀬戸から外海に出る．又大根島の西及び北を通って中江瀬戸から外海に出る流れもある．鹹度の高い外海の水は底流をなして，本庄地先を通り，大橋川口に至る．

中海は豊原(1938)が述べているように，夏と冬とでは水位の高さが異り，Table 5, Text-fig. 5 に示すように，冬になると日本海の気圧が高くなり，従って水位が夏より 30cm 以上も低下するので，水位差が大きくなり，宍道湖の淡水が多量に流入して表層30～60cm は淡水で覆れて特異の状態になることがある．夏になると5・6月頃から気圧の低下に伴い，日本海の水位が次第に高くなり，従って外海から鹹度の高い水が中海に流入して，水深2.7～4m の所に鹹度の著しい躍層が出来る (Text-fig. 14 参照). 風が吹きつのった荒天の後には水深が浅い関係上，上下層が攪拌されて，鹹度が一様になることがある．

水温は気温の影響が強く作用して，冬期 1～2 月には表層2～5°C, 底層 3～8°C, 夏期8月



Text-fig. 4. Nakanoumi.



Text-fig. 5. Monthly maximum and minimum tidal levels of the Nakanoumi. Data by courtesy of the Arashima Tidal Station.

Table 5. Monthly maximum and minimum tidal levels of the Nakanoumi.
(Data by courtesy of the Arashima Tidal Station)

Year : month	Maximum tidal level			Minimum tidal level		
	Day	Time h.	Level cm	Day	Time h.	Level cm
1941 : Jan.	20	11	20.3	26	11	10.0
〃 Feb.	22	14	16.4	13	13	7.0
〃 Mar.	12	2	19.0	29	1	8.0
〃 Apr.	15	17	18.6	8	9	8.4
〃 May	29	17	20.8	16	4	9.8
〃 Jun.	12	17	21.8	15	3	11.2
〃 Aug.	25	18	24.7	22	23	16.2
〃 Sept.	5	16	23.2	16	19	14.0
〃 Oct.	13	5	22.4	27	17	11.6
〃 Nov.	20	4	21.6	10	15	10.4
〃 Dec.	10	7	20.0	21	15	9.3
1942 : Jan.	30	4	19.0	3	14	8.6
〃 Feb.	19	19	17.5	14	11	9.6
〃 May	31	17	19.1	23	6	10.8
〃 Jun.	15	16	21.3	3	2	12.3
〃 Jul.	18	17	23.4	1	1	15.0
〃 Aug.	6	11	24.4	28	3	13.5
〃 Sept.	22	15	24.5	5	20	14.4
〃 Oct.	22	15	21.6	7	21	13.2
〃 Nov.	25	5	21.4	10	12	11.0
1943 : Jan.	31	1	16.4	13	17	7.6
〃 Feb.	7	6	17.7	16	9	7.5
〃 Mar.	1	16	17.8	31	9	7.6
〃 Apr.	8	18	17.6	6	12	7.8
〃 May	25	19	18.2	22	1	9.7
〃 Jun.	4	16	20.4	8	0	12.4
〃 Jul.	31	16	21.7	19	0	13.4
〃 Aug.	30	15	21.5	21	3	13.8
〃 Sept.	21	7	24.5	14	23	14.4
〃 Oct.	4	6	23.2	13	23	13.2
〃 Nov.	7	2	21.2	28	11	11.2
〃 Dec.	8	3	21.1	11	11	10.5

には表層・底層共に28～30°C である.

海水 σ_{15} は冬期・夏期共に表層10～15であるが，底層は 20～23 である．6～7 月に降雨が多いに係らず鹹度が高くなる理由は，前記の如く気圧による水位の上昇のため，外海水の侵入によるのであろう．梅雨期が短く，旱魃の年は降雨の少いに係らず沿岸の鹹度は低く，同地特産のオオオゴノリ *Gracilaria gigas* HARV. は大繁茂して増産され，“日照草” の異名を持っているが，これは気圧が高いために水位が下降し，従って水位差が大きく，宍道湖の淡水が流下して中海沿岸の鹹度を低下せしめることに起因するものと考えられる.

水質は硅酸塩・燐酸塩共に，東京湾の2～3倍もあり，前者は 5～10 mg/L, 後者は 600～900mg/m³ 以上に及び可溶性有機物も 5mg/L 以上あり，富栄養湖的性状が濃厚である．従って，浮游生物は比較的多く，大部分は硅藻で，普通浅海に出現する種類 (*Chaetoceros, Skeletonema, Coscinodiscus, Rhizosolenia, Thalassiothrix, Nitzschia, Navicula, Pleurosigma*, etc.) と変りないが，ときには Dinoflagellata 等の異常繁殖により，赤潮現象を起すこと屢々である．中江瀬戸の境港口に，築堤を設けて，漂砂により港口の埋没するのを防いだのに係らず，年々港口が浅くなり，中海に流入する外海水の疎通を害し，近年急速に中海が

汽水化の傾向強く，その Plankton の組成を変えつつあることは渋谷（1955）が記している通りである．

底質は島根水試（1936），中野・水野・矢野（1929），太田（1951）の記すように大部分が死介殻を交えた，青黒い軟泥の腐植土で，船で竹を建てると5尺（1.5m）位は容易に入りこむ．特に大根島より南は各川口・意東鼻等の流れの早い特定の所を除いて，距岸 50～100m 位より沖合は全く，泥率 100％で，一様に 2～3m の泥で覆れている．軟泥は灰青色の層の上に，黒褐色の薄い層があり，陸岸に近くなるほど一般に黒色度合が強く，特に米子湾の底質の悪化が著しい．夏期には底層水に酸素の含有が少く，場所により皆無の地域を生じ，宮地（1946）も述べているように無生物地帯としての死圏が現れるのは，この腐植土の分解によると解される．

有名な赤汐は栄養に富んだ海水に培養された Plankton が，夏期の高温により大繁殖しこれが死滅することによって，水質を悪化し高温による腐植土の分解と相俟って，全く無酸素状態の水塊を形成する．これが移動通過するときには底棲生物を死滅せしめ，養殖場のサルボウ（方言アカガイ）に大きな被害を与えるばかりでなく，エビ・ハゼ・ウナギ・ボラ・タコ等の水族までも斃死させる．

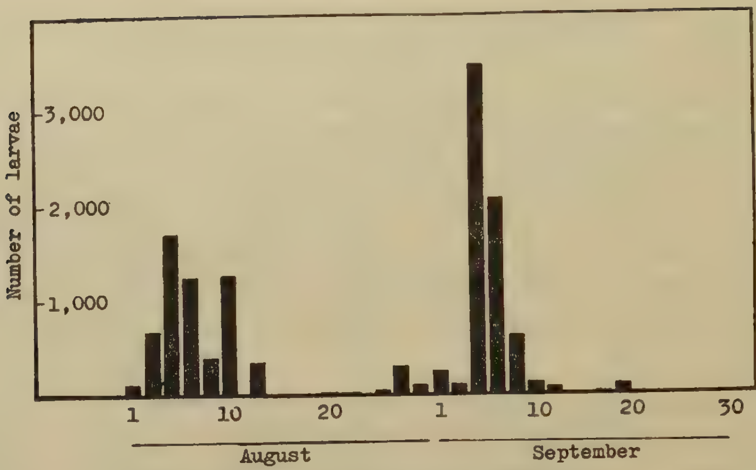
筆者が1942年8月中旬に経験した赤汐は，主として *Ceratium tripos* の繁殖によるもので，2日程静隠な日がつづき，これが死滅して水色は褐色を帯び粘調となり，下層に次第に沈澱して，採苗器に用いた棕梠の表面が綿で覆ったような状態となった．ついで，この Plankton の死骸は1～2日で腐敗して真黒くなり，これが更に剝脱して Collector の棕梠は海底から7尺（2.12m）の間は全く洗い清められたようになった．Text-fig. 13 の8月5日建，8月19日採のサルボウの附着層が，少しく異状を呈しているのは，赤汐によりサルボウが移動してその影響を示すものである．赤汐の根源地は中海の奥の米子湾であり，境港の築堤後，毎年境港の口に漂砂が堆積し，中海の水の交流が益々阻害されて一層赤汐の発生頻度が多くなり，更にその被害を大きくして今日に至っている．

(IV) 仔虫の出現時期

人工的に採苗するにはサルボウ仔虫の出現時期を明かにして，採苗時期を予知する必要がある．この目的の下に調査を行った．場所は荒島湾の中央，水深5.5m の所である．（Text-fig. 4, Station 1参照）．

1. 調査の方法：—1943年7月10日から9月30日までの間，隔日毎に Plankton-net を海底から表面まで垂直に曳き，1回毎に Plankton をコップに集め，これを3回繰り返し，合計したものを試料とした．なお，別に hand-pump で，海底から表面まで60cm 毎に，各層の水 30L を吸み上げ，net で濾過して Plankton を採集した．試料は何れも4％の formalin で固定して持ち帰り，静かにかきまわして浮游した硅藻等を捨て，沈澱した浮游仔虫のみをスポイトで罫線スライドガラスの上にとり，前述のような umbo-stage 及び full-grown stage の Veligerを算えた．

2. 調査の結果：—それによると，Table 6 及び Text-fig. 6 のように，2回の大きな山があることが判った．Pump 採集による試料によって見ても，この2回の山は垂直曳の試料と全く一致している．その後，例年8月初旬と9月初旬の2回の附着の盛期があり，8月初旬のものは数としては9月初旬のものに劣るけれども，その成長の速かなことと，ホトトギス



Text-fig. 6. Frequency of appearance of ark shell larvae.

Table 6. Frequency of appearance of ark shell larvae.

Date of collection 1943		Number of larvae	
		Net sample	Pump sample
Jul.	21	0	0
〃	26	0	3
Aug.	1	125	19
〃	3	674	—
〃	4	1,705	—
〃	5	1,251	93
〃	7	398	—
〃	10	1,270	—
〃	13	341	132
〃	17	5	20
〃	19	7	0
〃	21	15	0
〃	23	5	4
〃	26	51	—
〃	28	298	61
〃	30	109	—
Sept.	1	231	265
〃	3	111	—
〃	5	3,465	—
〃	7	2,057	642
〃	9	616	—
〃	11	123	—
〃	13	80	83
〃	15	7	—
〃	17	36	—
〃	19	101	35
〃	22	0	1
〃	24	7	—
〃	27	0	—
〃	29	0	1

Table 7. Spat attached to a 1.52 m long "Waramabushi" collector hauled up in September, 1943.

Shell length mm	Number of collected spat
9.0～3.5	5,300
3.5～2.5	6,299
2.5～1.5	11,600
1.5>	8,898
Total	32,097

(*Brachidontes*) と混じて附着することなく，純粋に採苗することができて種苗として優秀のものである．附着の盛期は 3～4 日の間であって，1943年に於ては 8月は 3 日から5日までの期間，9月は 5日から 7日までの期間であった．そして多量の採苗器を投入して，頗る成績良く附着し，産業的に人工採苗は成功した．即ち，9月19日に取り揚げた採苗器ワラマブシ5尺 (1.52m) の間に，附着したサルボウの数は，Table 7 の通り合計32,097粒であった．

その後，サルボウの採苗にはこの方法を採用し，畑 (1948)，太田(1953)もこれを行い，当業者もこれによって，的確に採苗することができるようになった．

(V) 仔虫の水平分布

産業的にサルボウの人工採苗を行うには，採苗場を設定するためにその仔虫の分布密度及

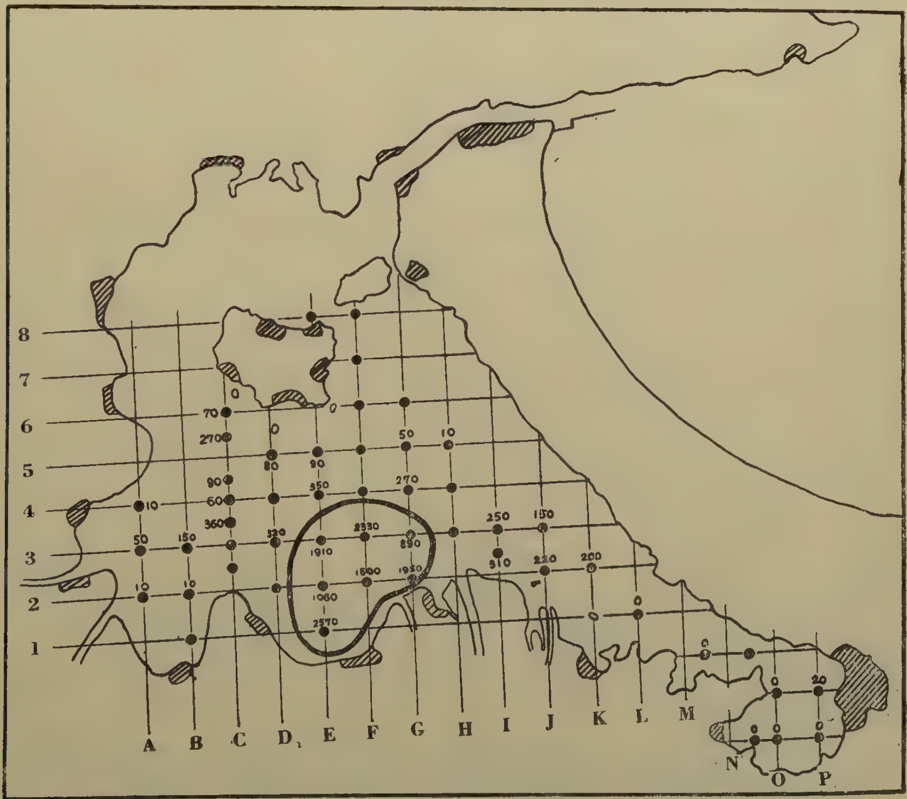
び範囲を知ることが必要である．1942年に中海に於ける仔虫の分布を調査した．

1. 調査期間：一7月19日から10月1日まで，附着器を次の如く4回建設して，稚貝の附着数によりその分布を推定した．

Table 8. Spat survey by the test rope method in 1942.

Division	Rope set	Rope taken up	Duration of hanging
July set, August up	July 19～21	Aug. 5～7	17 days
〃, September up	〃 〃	Sept. 7～9	50 〃
August set, 〃	Aug. 5～7	〃 〃	33 〃
September set, October up	Sept. 7～9	〃 29～Oct. 1	22 〃

2. 調査の方法：一調査地点は60ヶ所，意東鼻を基点Cとし，意東鼻と大根島の入江部落との見通線（南北の線）を基準線（C線）として，中海を1,090m 毎に碁盤目に区切り，その区切点に竹を立て，調査地点とした．C線上は間縄により1,090m 毎に C2, C3, C4 等を求め，この点から，東又は西に船を航走し，秒時計により航走距離を測って竹を建て，縦列，横列に従って交叉点を上記の如く命名した．海中に建てた，この竹（真竹，周 20～25cm，長 10～12m）から直径 5mm の棕梠縄に煉瓦を重石として垂下した．一定期間の

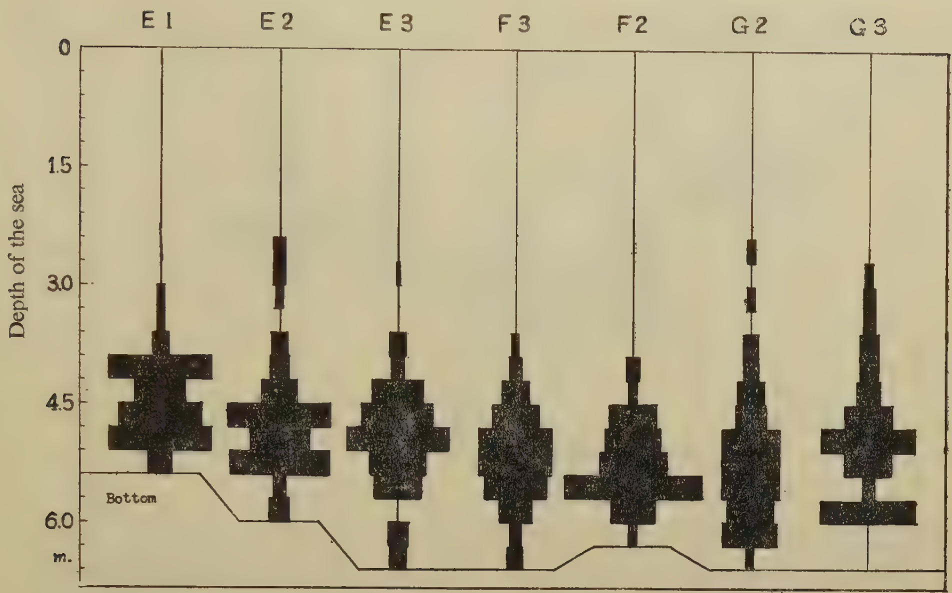


Text-fig. 7. Map of the best area for collecting spat in "July set and August up."

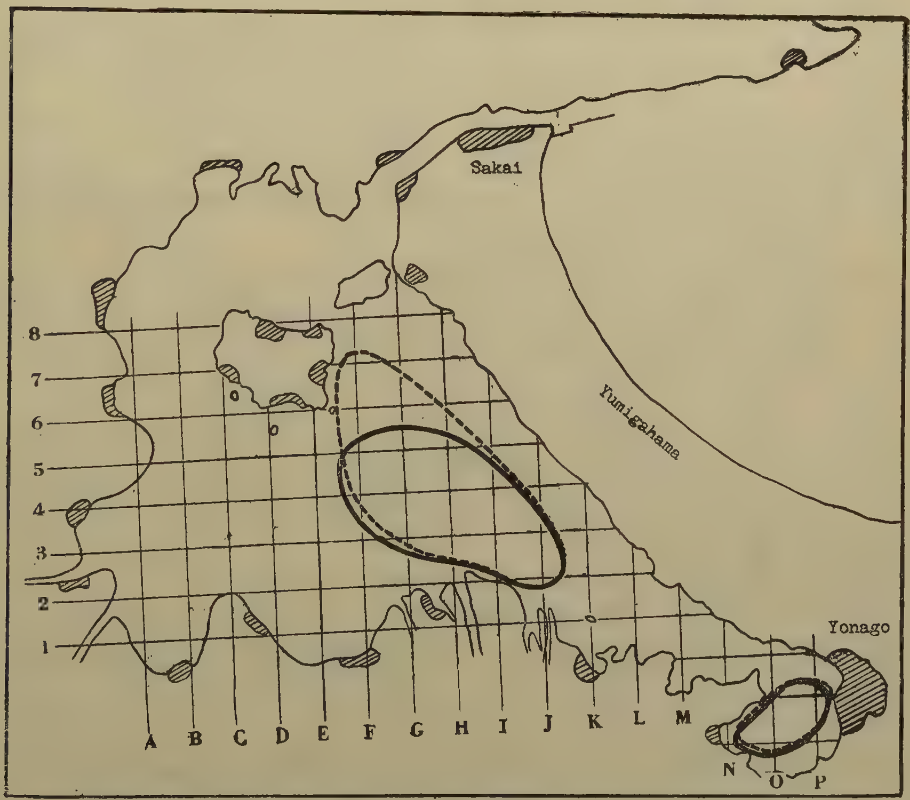
Table 9. Number of ark shell spat attached to a test rope in summer, 1942.

Station	A3	A3	A4	B1	B2	B3	C3	C3,4	C4	C4,5	C5	C5,6	C6	D2	D3
July set, August up	1	5	1	0	1	15	—	36	6	9	9	27	7	—	32
July set, September up	3	—	1	—	4	1	—	33	—	—	—	—	9	—	64
August set, September up	—	—	—	—	—	—	2	8	—	—	—	—	—	—	—
September set, October up	—	—	71	0	9	—	166	276	473	135	571	774	720	219	283
Station	**DE5**	**D5**	**E1**	**E2**	**E3**	**E4**	**E5**	**E8**	**F2**	**F3**	**F4**	**F5**	**F6**	**F7**	**G2**
July set, August up	—	8	257	106	191	35	—	—	180	233	—	—	—	18	195
〃 , September up	—	19	36	31	—	—	58	—	52	2	360	352	—	99	—
August set, 〃	242	365	29	19	—	—	—	—	7	34	130	534	27	170	41
September set, October up	306	649	98	—	—	494	561	19	—	525	207	558	157	57	675
Station	**FG3**	**G3**	**G4**	**G5**	**G6**	**H3**	**H4**	**H5**	**I2**	**I3**	**I4**	**J2**	**J3**	**K2**	**L1**
July set, August up	—	89	27	5	—	—	—	1	31	25	—	22	15	20	0
〃 , September up	—	192	93	424	—	—	—	237	—	355	—	509	—	—	—
August set, 〃	—	125	146	426	142	—	—	209	156	396	95	249	—	—	—
September set, October up	119	203	262	453	—	218	321	158	228	116	71	78	—	—	44
Station	**M2**	**N2**	**N4′**	**O3′**	**O4′**	**P3′**	**P4′**								
July set, August up	0	—	0	0	0	2	0								
〃 , September up	20	—	521	1,356	342	1,762	80								
August set, 〃	28	13	310	161	68	217	16								
September set, October up	62	—	33	34	32	10	21								

Note : Numbers in the table should be multiplied by 10.



Text-fig. 8. Attachment of spat by depths in "July set and August up."



Text-fig. 9. Map of the best area for collecting spat in "July set and September up."
(Broken Line: "August set and September up.")

Table 10. Number of spat attached to a test rope in "July set and August up."

Station	E1	E2	E3	F3	F2	G2	G3
Depth m \ Total	257	106	191	233	180	195	89
0.3	0	0	0	0	0	0	0
0.6	0	0	0	0	0	0	0
0.9	0	0	0	0	0	0	0
1.2	0	0	0	0	0	0	0
1.5	0	0	0	0	0	0	0
1.8	0	0	0	0	0	0	0
2.1	0	0	0	0	0	0	0
2.4	0	0	1	1	0	0	0
2.7	1	3	0	1	0	3	0
3.0	1	3	1	3	1	0	2
3.3	4	2	0	3	1	3	3
3.6	6	0	0	5	3	1	3
3.9	10	4	7	3	0	9	4
4.2	66	5	5	7	4	9	4
4.5	31	10	25	17	3	13	5
4.8	55	28	35	30	23	15	11
5.1	67	16	50	46	26	30	21
5.4	16	27	27	46	31	29	11
5.7	—	3	23	38	63	29	3
6.0	—	5	0	19	21	24	21
6.3	—	—	9	6	4	27	0
6.6	—	—	7	8	—	3	1

Numbers in the table should be multiplied by 10.

Table 11. Number of spat attached to a test rope in "July set and September up." (Yonago Bay)

	Station	N4′	O3′	O4′	P3′	P4′
	Total	521	1,356	342	1,762	80
Depth of the sea (m)	0.3	2	47	0	0	0
	0.6	8	62	0	6	2
	0.9	11	51	0	22	3
	1.2	7	66	0	45	5
	1.5	32	75	1	63	8
	1.8	43	112	2	87	28
	2.1	19	238	5	76	27
	2.4	177	212	17	163	7
	2.7	144	192	27	169	0
	3.0	74	232	52	376	0
	3.3	4	69	130	392	—
	3.6	—	—	106	244	—
	3.9	—	—	2	114	—
	4.2	—	—	0	5	—

Numbers in the table should be multiplied by 10.

後，棕梠縄を採り上げて附着したサルボウの数及び大きさを調査した．即ち，棕梠縄は底から30cm 毎に切り，その中から平均と思われるところを 3cm 宛 2個切りとり，1つを調査用に他の 1 つを標本用とした．附着実数を10倍して30cm 間の附着数とし，合計したものをその地点に於ける附着数とした．各調査地点に於けるサルボウの調査実数は Table 9 の通りで，之を10倍した数が其地点の附着数となる．

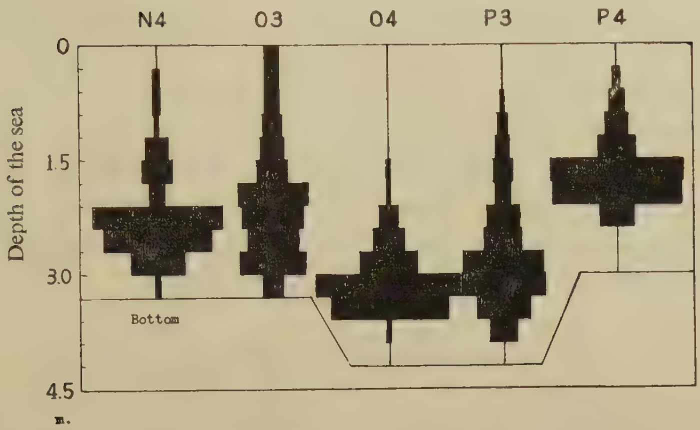
3. 結　果：一7月建〜8 月採では，棕梠縄1本に，2,570粒附着したところ E1 を最高とし，1,000個以上の場所は6地点で，その他の場所は著しく附着が少なかった．1,000粒以上附着した場所を，経済的採苗可能区域とすると，このような場所は荒島地先に600 h.a. を占めている．その附着の状況を図示すると Text-figs. 7, 8, Table 10 の通りである．

7 月建〜9 月採のものは米子湾内の，17,620粒附着した地点P3′を最高として，1,000粒以上附着した地点は9地点で，亀島・江島・波入・論田の4地点を結ぶ大根島南東方，及び米子湾に，合計 1,500 h.a. を占める広大な区域が経済的採苗可能区域である．特に米子湾内は1万粒以上附着した地点2個所の他，何れも附着濃厚で，極めて多量の仔虫の分布を見ることが判った．その附着状況は Text-figs. 9, 10, Table 11, の通りである．

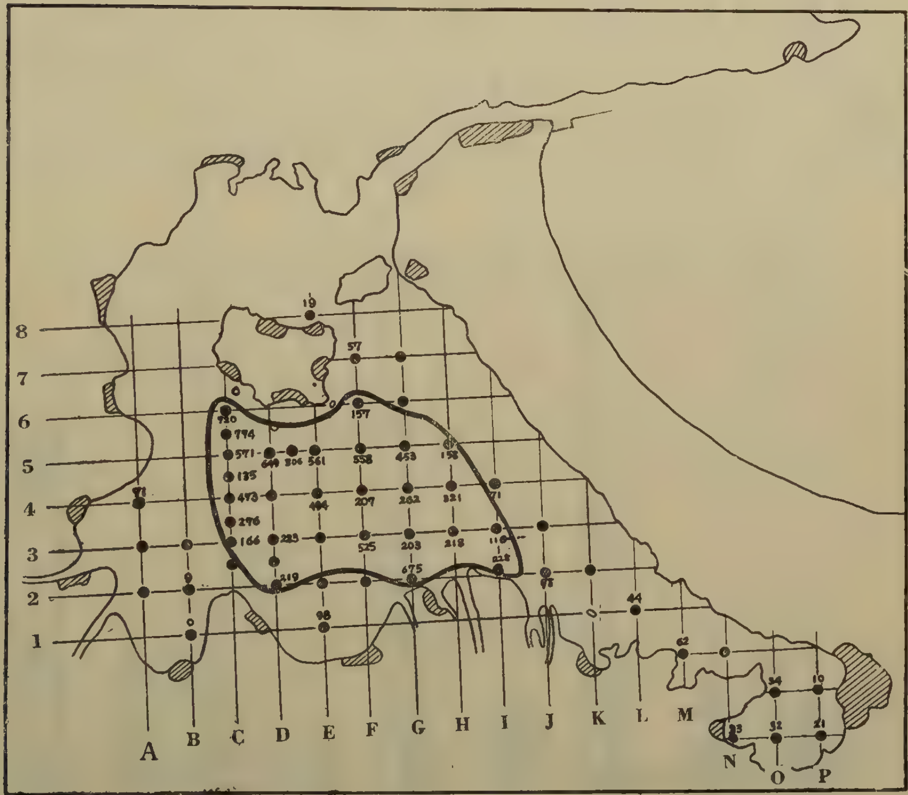
8月建〜9月採では最高5,350粒（渡・論田の中間 F5），1,000粒以上は16地点で，米子湾及び飯梨川尻から続島を見通す線以東，弓ケ浜一帯の面積2,000 h.a. に亘り採苗区域のあることが判った．

9月建〜10月採では田島地先C5.6の7,740粒を最高として，1,000粒以上附着した地点は27地点あり，亀島から江島見通線，及び意東鼻・人江見通線の間，中海中央部全面に亘り，面積3,000 h.a. の採苗区域のあることが判った．其状況は Text-fig. 11 の通りである．

以上を綜合すると，仔虫の分布は早期は荒島地先に多いが，時期の移るに従い仔虫数も増



Text-fig. 10. Attachment of spat by depths in "July set and September up."



Text-fig. 11. Map of the best area for collecting spat in "September set and October up."

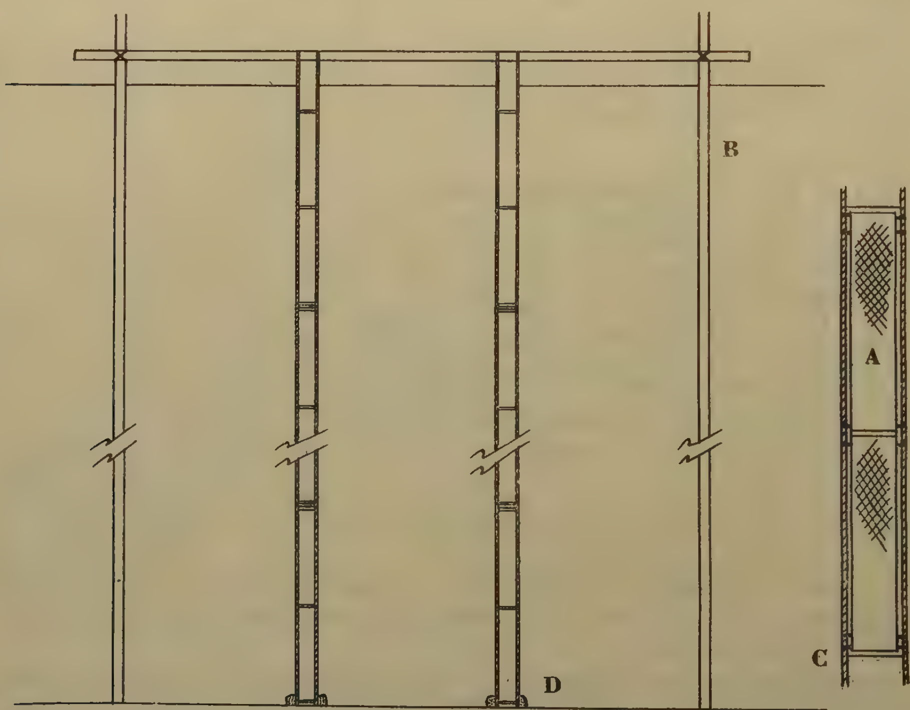
加し，東の方，弓ケ浜・米子湾方面に多くなり，更に時期が移ると大根島寄りに増加することが判った．従来，種苗の産地として知られた亀島地先・弓ケ浜寄りの所に，現在も仔虫が多く分布し，赤汐のため斃死して天然種苗として発育することはないが，人工採苗すれば多

量のサルボウの種苗を得られると考えられる．特に，7月19日に建て込み，10月5日に採り揚げた論田地先 G3 の竹，周 18cm, 長さ 1.8m の間に，サルボウ10,201粒附着し，その重量 3,712gr, 容積 4,931cc を採取し，経済的にも充分採算可能なることが明かとなった．1,000粒以上附着する区域は 4,000h.a. に亘る広大なもので，時期的に多少の濃淡はあるが，何れも経済的に採苗区域として使用し得ることが判った．現在養殖場として使用している意東鼻・入江見通線以西の，親貝のいる区域での人工採苗は海況の異常のある特別の年を除いて，殆ど不可能で，仔虫は潮流により次第に東の方へ流れ，弓ヶ浜・米子湾方面に累積して，著しく濃密に分布することが普通であると考えられる．

(VI) 仔虫の垂直分布と稚貝の附着層

人工採苗するには採苗器を建設する深さを知る必要がある．水深によって稚貝の附着率がどの様に変化するかを1942年に調べた．場所は渡島の南方1.5km の Station 4 と，意東部落と続島との中間 Station 7 の 2 地点である．

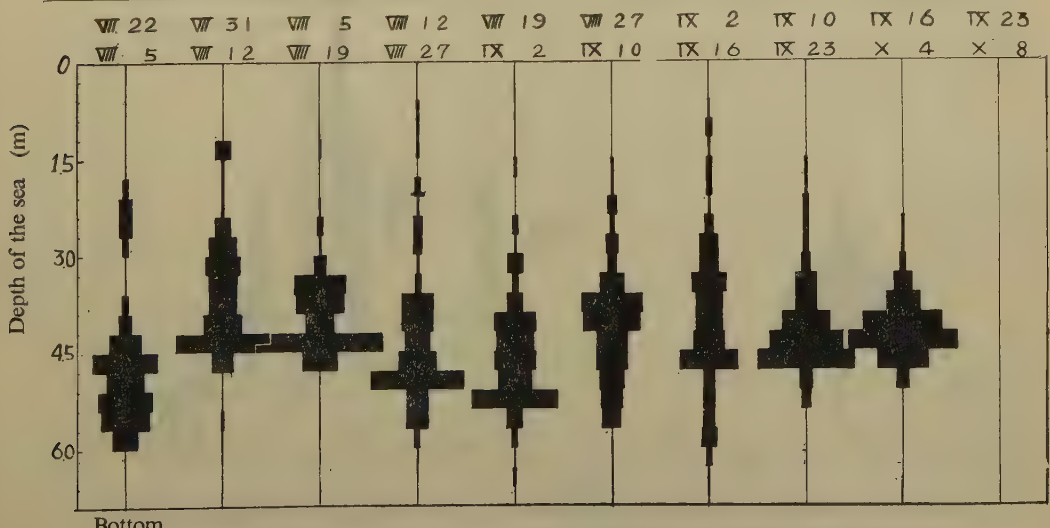
1. 調査の方法: —2枚のうすい板の間に，棕梠皮をはさみ，Text-fig. 12 のように縁取りした枠で，幅 9cm, 長さ 90cm の採苗用枠を作り，これを6枚，縄で連結して水面に近く設置した梁から垂下した．その建設状況は Text-fig. 12 のようである．採苗器は1週間毎に2個建設し，1枚を2週間毎に，他の1つを4週間毎にとりあげて調査した．そして底から 30cm 毎に切り，その面積 270cm² の中，サルボウの附着の平均の所 3cm² を2ヶ所切りと



Text-fig. 12. The state of hanging collector for examination in Station 4.
A : Hemp-palm collector ; B : Bamboo pole ; C : Rope ; D : Stone weight.

Table 12. Number of spat attached to a hemp-palm collector at Station 4. (Multipy the numbers in the table by 30.)

Set day	July		August				September				October
	22	31	5	12	19	27	2	10	16	23	4
Up day	August				September				October		
	5	12	19	27	2	10	16	23	4	8	13
Total	87	76	413	632	571	684	501	782	308	0	0
Depth of the sea (m) 0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.9	0	0	0	7	0	0	5	3	0	0	0
1.2	0	0	1	5	0	0	7	1	0	0	0
1.5	0	4	4	4	0	0	6	2	0	0	0
1.8	0	1	0	0	4	8	12	6	0	0	0
2.1	2	1	0	15	3	8	12	7	0	0	0
2.4	3	1	3	6	3	19	5	12	0	0	0
2.7	3	4	6	19	10	15	17	13	3	0	0
3.0	1	6	4	17	7	26	31	15	1	0	0
3.3	0	8	15	5	26	19	30	17	6	0	0
3.6	0	7	66	14	9	57	58	52	20	0	0
3.9	2	7	63	62	26	132	44	64	34	0	0
4.2	3	9	38	65	77	121	45	116	76	0	0
4.5	9	22	162	50	68	68	48	189	107	0	0
4.8	17	5	47	73	65	65	88	234	48	0	0
5.1	12	0	1	185	60	56	22	28	12	0	0
5.4	15	0	1	42	154	49	20	23	1	0	0
5.7	13	1	1	43	31	38	20	0	0	0	0
6.0	7	0	1	15	12	1	22	0	0	0	0
6.3	0	0	0	2	2	1	9	0	0	0	0
6.6	0	0	0	3	4	1	0	0	0	0	0
6.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

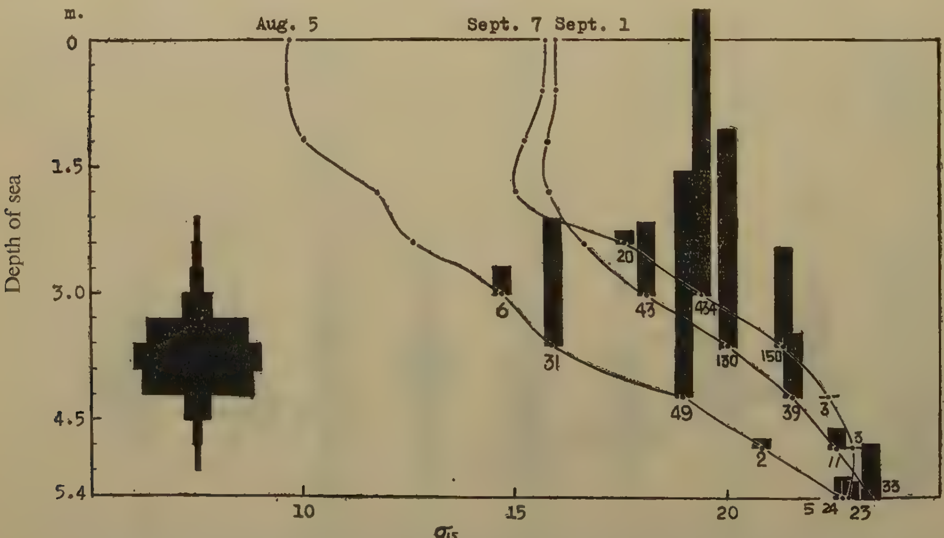


Text-fig. 13. Attachment of spat at Station 4 in summer, 1942: by depths.

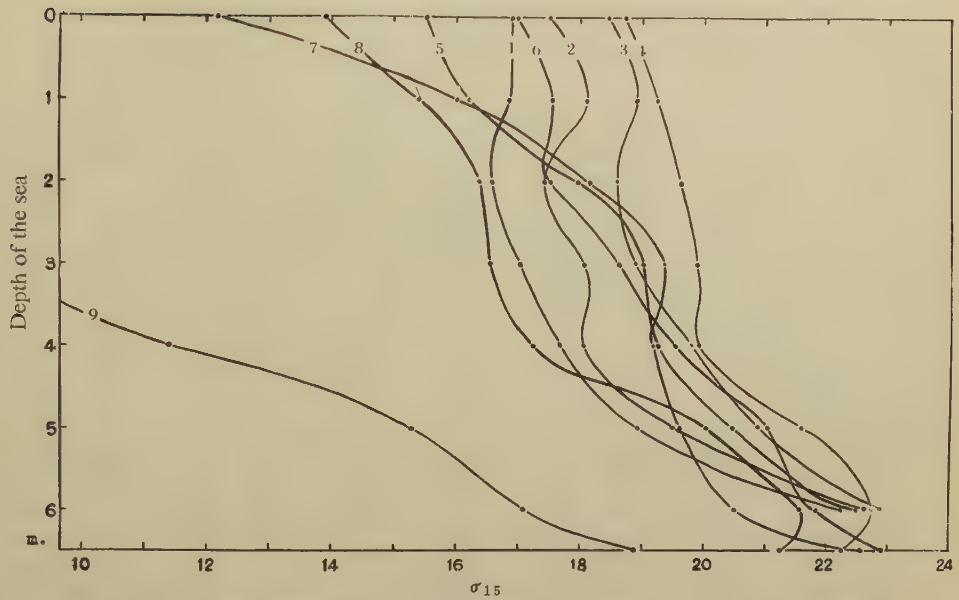
り，1つを計数用，他の1つを標本用とした．3cm² に切り取った棕梠皮の両面に附着したサルボウの数と大きさを調査し，調査実数を30倍して，その水層の附着数とした．その調査した結果は Table 12，Text-fig. 13 の 通 り で あ る． 調査地点 Station **4** 及び **7** の中， 後者は

Table 13. Relation among spat attachment layer, swimming layer of larvae and σ_{15} of sea water.

Depth	Jul. 29 set Aug. 17 up	Aug. 5		Sept. 1		Sept. 7	
m	Attached spat	σ_{15}	Number of larvae	σ_{15}	Number of larvae	σ_{15}	Number of larvae
0.0	0	9.70	0	16.07	0	15.77	0
0.3	0	—	—	—	—	—	—
0.6	0	9.67	0	16.04	0	15.70	4
0.9	0	—	—	—	—	—	—
1.2	0	10.08	0	15.79	0	15.27	1
1.5	0	—	—	—	—	—	—
1.8	0	11.78	0	15.84	0	15.07	4
2.1	0	—	—	—	—	—	—
2.4	0	12.58	0	16.66	0	17.59	20
2.7	17	—	—	—	—	—	—
3.0	33	14.72	6	18.09	43	19.43	434
3.3	81	—	—	—	—	—	—
3.6	275	15.87	31	20.03	130	21.33	150
3.9	345	—	—	—	—	—	—
4.2	302	18.94	49	21.50	39	22.33	3
4.5	66	—	—	—	—	—	—
4.8	18	20.81	2	22.55	11	22.94	3
5.1	4	—	—	—	—	—	—
5.4	4	22.71	5	23.37	33	22.83	24



Text-fig. 14. Relation among spat attachment layer, swimming layer of larvae and σ_{15} of sea water.



Text-fig. 15. Vertical distribution of σ_{15} at Station 7 in summer, 1942: by 10-day periods.

Table 14. Mean water temperature and σ_{15} at Station 7 in summer, 1942.

		10-day period	1	2	3	4	5	6	7	8	9
		Month	Early July	Middle July	Late July	Early Aug.	Middle Aug.	Late Aug.	Early Sept.	Middle Sept.	Late Sept.
Water temperature	Depth of sea m	0	26.8	30.3	31.4	31.3	29.4	29.1	27.6	26.6	21.5
		1	26.8	30.3	31.4	31.3	29.4	29.2	27.8	27.1	21.6
		2	26.4	30.3	31.2	31.3	29.6	29.4	28.0	26.9	21.5
		3	26.3	29.9	30.8	31.2	29.6	29.3	28.0	27.1	21.9
		4	26.0	29.4	30.8	30.8	29.6	29.8	28.0	27.1	22.4
		5	25.3	28.7	29.7	30.2	30.0	30.3	28.0	27.7	23.3
		6	24.1	27.7	28.3	29.8	29.1	30.1	27.8	27.1	24.6
		Bottom	—	—	—	29.5	—	30.0	27.9	27.0	25.2
σ_{15}	Depth of sea m	0	16.91	17.51	18.43	18.72	15.49	16.97	12.17	13.93	4.77
		1	16.89	18.11	18.89	19.25	16.19	17.55	16.01	15.38	5.77
		2	16.56	17.42	18.60	19.65	17.96	17.48	18.15	16.37	6.20
		3	17.02	18.08	18.92	19.91	19.01	18.63	19.38	16.53	8.09
		4	17.67	18.08	19.82	19.93	19.27	19.47	19.24	17.24	11.41
		5	18.93	19.51	20.89	21.59	20.46	21.05	19.46	20.06	15.32
		6	22.23	22.63	22.88	22.74	22.56	21.82	20.49	21.58	17.10
		Bottom	—	—	—	22.24	—	22.88	22.57	21.25	18.87

Table 及び Text-fig. を省略した.

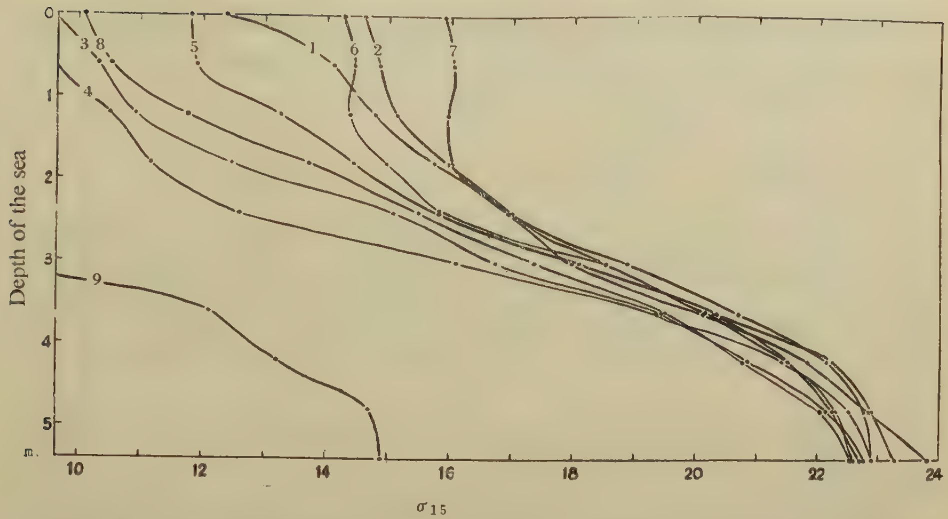
即ち，Station **4**, 7月22日建，8月5日採では4.5m から5.7m まで 1.5m の間に全体の78%が附着しており, 7月31日建, 8月12日採では，3.3m から 4.5m までの 1.5m の間に全体の77%が附着しておる．9月23日建, 10月8日採及び10月4日建, 10月13日採はいづれも全く附着してない．このように，附着の幅や水深が異るのは何故であるかを，1943 年に調査した．海底から60cm 毎に hand-pump で 30L の海水を汲みあげて，その中に含れる仔虫数を算え，且，その水層の σ_{15} と対比して見た．すると，Table 15及び Text-fig. 16 に示す

Table 15. Mean water temperature and σ_{15} at Station 1 in summer, 1943.

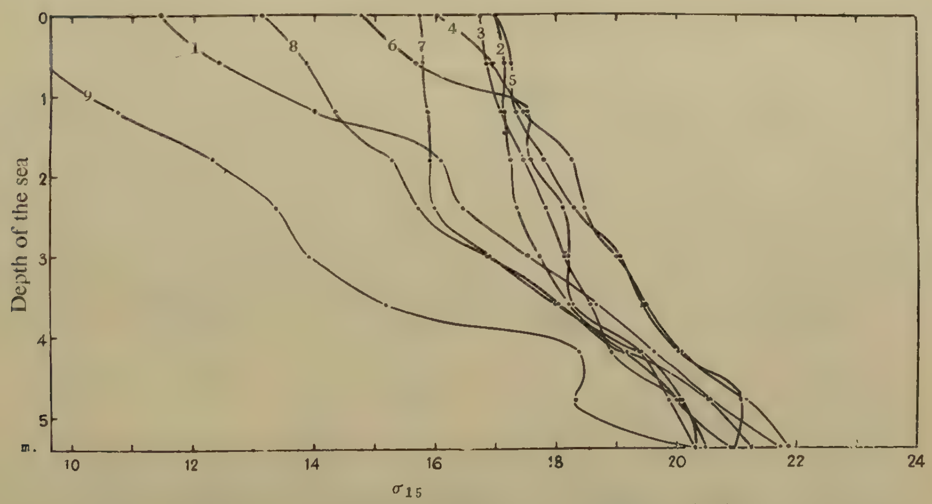
	Depth of sea (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10-day period	Month	Early July	Middle July	Late July	Early Aug.	Middle Aug.	Late Aug.	Early Sept.	Middle Sept.	Late Sept.
Water temperature	0	27.3	28.6	28.2	30.1	28.4	29.9	28.4	26.8	22.6
	0.6	27.2	28.7	28.0	29.7	28.6	29.8	28.5	27.1	22.0
	1.2	26.9	28.9	28.0	29.9	29.1	29.9	28.6	27.3	22.0
	1.8	26.3	28.8	28.0	30.0	29.1	30.1	28.6	27.7	22.2
	2.4	25.6	28.1	27.9	29.8	29.1	30.1	28.9	28.0	22.4
	3.0	25.0	27.2	27.8	28.8	29.0	29.6	29.1	28.2	23.1
	3.6	24.6	26.4	27.2	27.8	28.3	29.2	29.0	28.2	24.1
	4.2	24.0	25.0	26.8	27.0	27.4	28.5	28.6	28.0	24.6
	4.8	23.6	24.2	25.9	25.8	26.5	27.6	28.0	27.6	24.8
	5.4	23.0	24.0	24.9	25.4	26.3	27.2	27.4	27.3	25.2
σ_{15}	0	12.42	14.59	09.59	09.89	11.81	14.28	15.91	10.09	04.42
	0.6	14.10	14.84	10.31	09.95	11.90	14.42	16.03	10.51	04.36
	1.2	14.78	15.12	10.91	10.50	13.23	14.35	15.96	11.76	04,59
	1.8	15.72	15.95	12.45	11.17	14.42	14.96	16.00	13.69	04.81
	2.4	16.94	16.95	15.07	12.59	15.81	15.82	16.92	14.57	05.05
	3.0	17.97	18.89	16.72	16.10	18.10	18.53	18.56	17.38	07.58
	3.6	20.12	20.69	19.43	19.39	20.34	20.14	20.32	19.49	12.11
	4.2	21.82	22.15	20.83	21.41	22.25	21.51	21.53	20.81	13.20
	4.8	22.85	22.78	22.15	22.52	22.87	22.24	22.28	22.05	14.69
	5.4	23.82	22.90	22.77	22.89	23.28	22.76	22.63	22.52	14.89

Table 16. Mean water temperature and σ_{15} at Station 1 in 1944.

	Depth of sea (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10-day period	Month	Early July	Middle July	Late July	Early Aug.	Middle Aug.	Late Aug.	Early Sept.	Middle Sept.	Early Oct.
Water temperature	0	26.4	27.8	28.2	29.4	30.6	28.6	29.7	25.4	20.7
	0.6	26.5	27.8	28.1	29.5	30.6	28.6	29.2	25.6	20.6
	1.2	26.8	27.6	28.1	29.6	30.7	28.8	29.1	25.8	21.9
	1.8	26.7	27.6	28.2	29.8	30.6	28.9	29.0	25.9	22.0
	2.4	26.4	27.6	28.1	29.8	30.7	29.2	29.0	26.0	22.9
	3.0	26.1	27.4	28.1	29.7	30.2	29.2	29.2	26.2	23.2
	3.6	25.7	27.2	28.0	29.4	30.0	29.2	29.2	26.6	23.6
	4.2	25.5	26.8	27.9	28.9	29.7	29.3	29.1	27.1	24.5
	4.8	25.0	26.0	27.5	28.4	29.5	29.4	29.0	27.2	24.5
	5.2	24.9	25.8	27.4	28.4	29.4	29.4	28.6	27.4	24.9
σ_{15}	0	11.45	16.98	16.73	16.01	16.98	14.78	15.71	13.12	9.59
	0.6	12.41	17.14	16.85	16.93	17.25	15.63	15.76	13.85	9.58
	1.2	14.00	17.13	17.10	17.47	17.33	17.51	15.85	14.33	10.75
	1.8	16.10	17.23	17.47	18.27	17.80	17.56	15.88	15.27	12.31
	2.4	16.43	17.34	17.81	18.45	18.29	18.10	15.97	15.70	13.36
	3.0	17.51	17.72	18.13	19.00	19.02	18.18	16.87	16.86	13.90
	3.6	18.66	18.21	18.58	19.48	19.45	18.27	17.97	17.99	15.16
	4.2	19.61	19.16	18.93	20.10	20.04	19.38	19.12	19.39	18.38
	4.8	20.56	20.52	20.05	21.17	21.08	19.88	19.98	20.06	18.32
	5.2	21.74	21.22	20.46	21.85	20.94	20.28	20.91	20.28	20.31



Text-fig. 16. Vertical distribution of σ_{15} at Station 1 in summer, 1943: by 10-day periods.



Text-fig. 17. Vertical distribution of σ_{15} at Station 1 in summer, 1944: by 10-day periods.

ように，仔虫の游泳層は海水鹹度に支配されて，主として，σ_{15} 20 を中心として18から22の範囲に浮游している．その時の稚貝の附着層も全くこれと相関を持っていて，7月30日建，8月17日採の棕梠縄には Table 15の如く，仔虫の游泳層と全く一致して稚貝が附着している．9月の稚貝附着層も又仔虫の游泳層と全く一致している．その後，畑（1946），太田（1948）もこの事実を確認している．

1942～1944年3ヶ年間の，中海の夏期の海況（隔日に，2尺（60cm）毎垂直的に，各水層の海水水温並に比重を観測した）を示せば，Tables 14～16, Text-figs. 15～17 の通りである．即ち，低気圧が度々来て降雨多き年は，外海水の侵入多く，底層の鹹度は高く，海水鹹度の躍層が顕著に現われ，サルボウが大発生して人工採苗に好適の海況を呈する．1943 年の海況はその好例である．之に反して，1944 年の海況は干天続きの高気圧の年で，降雨が

少いに係らず，外海水の侵入少いので，底層の鹹度は低く，海水鹹度の躍層の発達も少く，サルボウの発生の少い上に，仔虫は垂直的に広く分布して，人工採苗に不適当の年であった．この3ヶ年の海況を対比して，極めて興味深いものがある．

(VII) 人　工　採　苗

中海では表層に淡い海水を湛え，底から高鹹度の海水が圧迫して，仔虫の好適な鹹度が狭い範囲になる程仔虫は狭い範囲に集る．この点，中海は採苗に最も恵れた条件を備えている．海況を観測して，毎年この σ_{15} と仔虫の游泳層との関係を調査し，最も確実な経済的附着層の幅を 75cm として採苗器を作り，水深 3.6～4.8m の間に於て適確に採苗することに成功している．

なお，8月に於ける採苗層と9月に於ける採苗層とは，底層の鹹度の上昇の程度に差があるので，採苗器垂下の水深が 30～60cm 異る．

1. 採苗器の考案：一稚貝が多く集って附着する場所は物の凹んだ所である．即ち棕梠縄であれば，撚り合してできる凹所に多く集る．このことは附着が安定のためか，外敵生物より身を隠すためか，又は水の渦流が起きて餌料が多く集るためと解釈してよいか，その理由は詳かでないが，とにかく凹所に密集するという現象が認められる．棕梠皮に，特に良く附着することが判ったので，初め棕梠皮を幅 3cm 長さ 15cm に切り，これをコールタール染藁縄 1.5m の間に 15cm 間隔にはさんだものを5～6本束ねて垂下したところ，割合に良く採苗することができた．時局は資材及び労力の窮屈な時代であったので，次に筆者はワラマブシ式採苗器を考案し，これが産業的に用いられるようになった．即ち撚縄機を用い，極細荷造縄（直径0.5cm, 1玉 7.5kg）を更に2子に撚縄する際，12cm に切った稲藁を挿入して瓶掃除のような形のものをつくった．この長さ 1.8m のものを輪形にし，これを3本結束して1房の採苗器とした．このような採苗器を考案した狙いとする点は次のようであった．

1. 附着が良好で，外敵生物には網目によって保護されながら，渦流により餌料が多く運搬され，その上に附着が安定するもの．
2. 取扱が便利で，輸送の場合，湿気を保有して，その上衝撃に耐え稚貝を保護するもの．（春に採取される微小の天然種苗は，半分位雑貝が混入しているほうが湿り気を保有し，衝撃にも耐え，輸送の成績が良いといわれている）．
3. 原材料としての資材が豊富且安価で，中海の現地で容易に手に入るもの．

藁や藁縄はそのままでは腐敗して使用に耐えないので，その防腐にはコールタールを軽く塗布することによりその目的を達した．コールタールの附着した大量のワラマブシはその乾燥に相当の広い面積を要し，そのコールタールの蒸発瓦斯又は雨天の際流失した油は，附近の農作物に被害を与え，損害の補償をすることがしばしばである．漁夫は衣類を汚し，洗濯等に困却し，多量の採苗器の取扱には甚だ困却した．朝鮮事変の終息後，針金の価格も下落し，その上，箒の原料であるシダ繊維の輸入も増し，これらが容易に手に入るようになったので，更にシダマブシ式採苗器を考案した．最初，58房の採苗器を作り1952年夏，採苗試験した処，ワラマブシより2～3倍附着率がよく，値段も安く生産する見込が立つに至った．ただシダマブシはかさばり，輸送費を多く要するので，現地で製作出来るよう努力した結果，

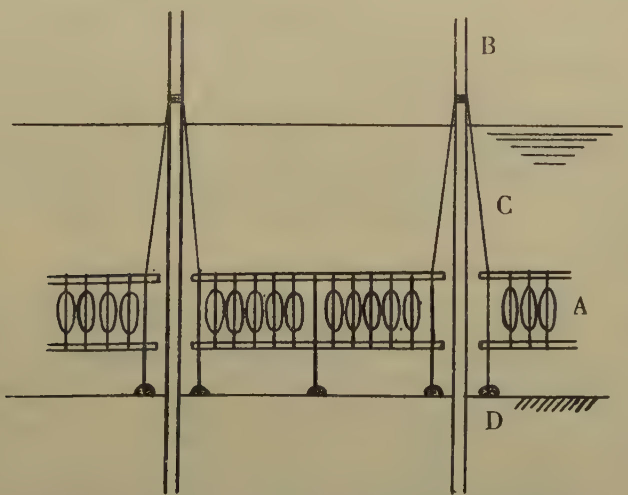
タワシ製造機を購入し，中海で多量に生産するようにした．即ちシダ繊維を12cmに切り，これを17～19番の亜鉛引鉄線2本の間に撚り合したものである．附着層の関係から，長さ75cm 5本を結束して1房とする(Plate 2, Fig. 9 シダマブシ参照)．ワラマブシからシダマブシに変ってから，更に色々都合のよい点が現われた．これを列挙すると，次の通りである．

1. サルボウ仔虫の附着率が良くなった．ワラマブシに比して2～3倍附着率が良好で，長さ75cm 5本1房で，5～10万粒採苗することができる．
2. ワラマブシのようにコールタール汚染の難がなく，軽量で取扱が容易となったので，仕事の能率が昇るようになった．
3. ワラマブシは乾燥しているので，容易に沈まず，多量の沈子を要したが，シダマブシは針金の重量により直ちに沈み，海中で動揺しないよう僅かな沈子で，事が足りるようになった．
4. 軽量になったので，竹杭，沈子，藁縄等の資材が少くて済み，資材の節約となった．
5. 軽量となったので，運搬費の節約となった．輸送用トラックに2倍の量を積み，附着率の上昇と共に，数倍の種苗を運搬することができる．

このように好成績のため，シダマブシ式採苗器は1954年より全面的に採用され，ワラマブシは僅かとなった．しかし，シダ繊維の輸入難から資材の不足を来した年には，やむなくワラマブシを相当量使用している．

なお，SCHUSTER, W. H. (1952) によると，Indonesia の汽水区域 Tambaks で養殖する *Chanos* の Fry-larva を採集する漁具 "Lure-line" は全くシダマブシと同じ形のものである．

2. 採苗の方法：一産業的に人工採苗するには，海中に採苗棚を作り，これから前記採苗器を多数垂下して仔虫を附着せしめる．現在使用している採苗の状況は Text-fig. 18 の通りである．棚は竹杭（真竹又は孟宗竹長さ10m, 周 24～27cm）を 4.5m 間隔に16本を1列に建て1棚とし，杭の間に，30cm 間隔に採苗器10本を垂下した横竹（長さ 3.9m, 周 1.8cm）をつり下げる．棚の間隔は 18m で，5 棚毎に 30m の船通しを開け，縦に棚と棚との間に



Text-fig. 18. The state of hanging "Shida-mabushi" collectors.
A: "Shida-mabushi" collector ; B: Bamboo pole ; C : Rope ; D : Stone weight.

180m の船通しを開ける．その1区劃の面積は 4 h.a. で採苗器10房×15×5=750 房で占めている．採苗器を垂下する時期には予め海況観測を行い，その年の海水 σ_{15} の垂直的分布状態を調べ，更に成熟期仔虫の出現状態並に垂直的分布状態を調査し，附着層に適合する深さに垂下する．成熟期仔虫が多量に出現したなら，毎日試験的に採苗器を垂下し，前日垂下した採苗器をとりあげ，拡大鏡で附着の数量を調査する．附着数の急激な上昇が初ったなら，附着の山は3～4日で終るから，この期を失せず昼夜の別なく，1斉に採苗器の建込をする．中海は夏期海軟風の影響強く，晴天ならば毎日11時から17時頃まで風波が高く，海上作業は困難である．それゆえ，朝夕の海面の静かな時か，夜間波静かな時に建込をする．

1房当りの採苗数並に大きさの最近の状況を広島水試(1953)及び岡山水指(1953)により示すと Tables 17～18 の通りである．即ち，1952年10月4日広島県へ移殖のワラマブシの

Table 17. Size distribution of the spat on a "Wara-mabushi" collector immediately before transplantation to seed culture ground.

Mesh-size mm	8	7	6	5	4	3	2	1	1>	Total	Transplant
Number of spat	0	6	30	660	972	3, 117	5, 226	13, 572	73, 932	97, 515	Oct. 4, 1952
Percentage	—	—	—	0. 7	1. 0	3. 2	5. 4	13. 9	75. 8	100 %	

Source: Hiroshima Fisheries Experimental Station.

Table 18. Size distribution of the spat on a "Shida-mabushi" collector immediately before transplantation to seed culture ground.

Mesh-size mm	10	7	5	3	2	1	0. 5	0. 25	Total	Trans-plant
Number of spat	0	73	1, 606	8, 083	20, 711	19, 183	11, 246	53	60, 955	Oct. 3, 1953
Percentage	0	0. 1	2. 6	13. 3	34. 0	31. 5	18. 5	0. 1	100 %	
Number of spat	0	1, 261	5, 168	6, 538	7, 658	3, 471	104	0	24, 227	Nov. 10, 1953
Percentage	0	5. 2	21. 3	27. 0	31. 7	14. 3	0. 4	0	100 %	

Source: Okayama Fisheries Experimental Station.

種苗は，殻幅 2mm 以下が90%を占め，その附着数は平均57, 515粒で，岡山水指調のものも同様の大きさで，附着数は61, 046±18, 648粒であった．岡山水指(1954)によると，1953年10月3日移殖のものは，殻幅1～3mm のものが，79%で，附着数は 60, 955 粒であった．又11月10日移殖のものは殻幅，2～5mm のものが80%で，附着数は24, 227であった．1953年8月30日建，10月27日移殖の種苗 648粒を測定し1mm 毎に10階級に別ち計算すると，殻長は4. 58±1. 73mm で，2～6mm が79%，殻高は3. 78±1. 59mm であった．

(VIII) 種 苗 の 育 成

中海で人工採苗した種苗を，そのまま採苗場に置けば附着後1ケ月で，殻長2～3mm になり，3ケ月後にはに5～10mm 成長し，11月には脱落する．その時の大さは殻長 10～15mm である．即ち，7月下旬乃至 8月上旬附着したものは3ケ月後，11月には脱落するが，9月上旬乃至中旬に附着したものは，水温の低下のため成長が遅れ，4～5ケ月後，春先に脱落する．しかし採苗器からの脱落は風波等により，この大さに達しない小型のものでも脱落する．しかし，このように地盤に落してしまっては，赤汐の被害や台風の虞があり，確実に豊富に種苗が得られないので，脱落しない以前に，安全な場所へ移して，保護する必要がある．

その方法は，殻長2～5mmの脱落する前に取りあげ，9月下旬乃至10月中旬，汽車や自動車で安全な場所，主として，岡山・広島両県下へ移すのである．

1. 輸 送： 輸送は汽車の場合は鮮魚運搬用の有蓋貨車又は冷凍車を用い，15噸積貨車に，1～1.5噸の氷を用いる．このように，氷を用いた場合，取揚後4～5日を要しても安全で，時間的には，全国どこへでも輸送が可能である．岡山・広島等の近県は勿論，最近は九州迄も貨物自動車により，取りあげ後直ちに積み込み，夜行で運び海に入れる．最も早い場合は，朝とりあげて，夕方には海に入れることができる．自動車は取揚地から移殖地まで，途中積み換える必要もなく運搬することができるので，経済的にも時間的にも有利である．しかしながら，採苗器をバラ積すると運搬中に附着硅藻が発酵して発熱し，風に吹かれて乾燥して，自ら足糸を切って，脱落する種苗が極めて多い．大体60～70%が脱落する．広島水試（1953）によると，木箱に入れたものは，バラ積みのものより脱落率は小さく，又自動車の後の方より，前の方のものが，脱落率が少いのは，動揺が関係するためであろう．輸送の関係で，バラ積みにし覆をして，貨物自動車で運搬するのが，普通であるがトラック1台でワラマブシは700～800房，シダマブシは1,300～1,500房を運ぶ．その稚貝の数は大約2,000～6,000万粒である．

2. 育成場（苗 場）：—9月下旬から翌年3～4月までの間，稚貝を保護育成する場所，即ち育成場（苗場）の撰定条件は次のようである．

1. 冬期比較的静隠で，西北の季節風の余り強烈でない場所．又台風時に風波の強く当る所は避ける．
2. 干潮線から30～60cm位までの，大干潮時に干出する場所．又は大干潮時水深30～60cmの所．
3. 底質砂泥地にして硬く，余り深く踏み込まず，軟くとも足のくるぶしを没せざる所．土壌の $KMnO_4$ 消費量30mg/L以下の所で，腐植土の過多な所は避ける．
4. 潮流が比較的良く交換する所．大潮の上げ汐時に20m/min以上の流速のある所．
5. 人家に近く管理に便利で，又地盤に落ちた種苗の採取に便利な所．

以上の条件を兼ね備えた水道又は島蔭のような所を良しとする．風波の難のない静隠なことと，流れが相当にあることが最も必要な条件である．

3. 育 成 の 方 法：—育成の方法は，大干潮線附近に棚を作り，これに採苗器を架けて養成するのである．普通，大干潮線附近に2mの竹杭を1.2m間隔に，地上70～90cmを残して打ち込み，地上60～75cm位の所を横竹で連結して棚を作る．棚の長さは15～18mで，棚間は2.7mである．即ち，1区劃0.5areで各区劃の間には，4～5mの潮通しを附ければ理想的である．棚1.2mの間に，ワラマブシ採苗器は3房，シダマブシ採苗器は5房を同じ間隔で掛け，その上を周15～18cmの真竹の二つ割にしたもので押えて結着する．

運搬の衝撃により脱落した稚貝を，採苗器を垂下した附近の干潟に，1m² 1.5～3万粒の厚蒔にして置けば，一夜の中に，附近の貝殻や小石に附着し又採苗器に再び附着してしまう．この際，地盤より稍高いところへ這い上る性質があるので，採苗器はなるべく海底に近く設置する方が良い．潮流及び風波の激しい所では，苗場の周囲を，竹又は木の粗朶を高さ60cm位密に立て込んで，風波を静隠にするように処置することが絶対に必要である．このように周囲を粗朶で囲うことは，種苗の流失を防ぎ又他人や害敵生物の侵入することを防ぐから，管理のためにも是非必要である．種苗は移殖後，非常に速かに成長して，大きいもの

から順次脱落し地上に下り，初めは地表に貝殻を露出しているが，次第に土中に潜入して成貝の生活に入る．10月移殖したものは，翌年3～4月頃となれば大部分が採苗器から離脱して，土中生活に入り，殻長12～15mm となり，濃密の所は30cm 平方に1,200～1,500粒，普通500～600粒，重量1粒0.4gr, 1L 2,000～3,000粒となる．1L 切桝1,000～1,500粒の大きさ（殻長 12.9～10.3mm）となれば，既に完全な種貝であるから，適時に数回間引くように取りあげて，本養殖場へ蒔き出しをする．この時の歩留は，中海から移殖したものの約10～20% である．即ち，この間の歩減の原因は主として，自然死亡と魚類，蟹類の食害とによるもので，この歩減を如何に少なくするかが，今後残された課題である．

その被害を与えるものは主として次のものである．

キンクロハジロ	*Aythya fuligula*
スズカモ	*Aythya marila mariloides*
クロダイ	*Mylio macrocephalus*
スズキ	*Lateolabrax japonicus*
ウナギ	*Anguilla japonica*
マダコ	*Octopus vulgare*
イイダコ	*Octopus ocellatus*
テナガダコ	*Octopus minor variabilis*
イシガニ	*Charybdis japonica*
ガザミ	*Portunus trituberculatus*
ヒシガニ	*Lambrus validus*
アカニシ	*Rapana thomasiana*
レイシ	*Purpura bronni*
ゴマフダマ	*Natica maculosa*
ヒトデ	*Asterias amurensis versicolor*
イトマキヒトデ	*Asterina pectinifera*
サンショウウニ	*Temnopleurus toreumaticus*

1943年秋，採苗器を籠（0.2m² 縦45cm, 横60cm, 深さ75cm, 1.5cm 目の竹籠で囲んだもの）の中へ収容して,保護した試験によると，4月26日に，1L 切桝 2,181粒のもの，最大10.3L, 最小 5.8L, 平均 6.9L を得た．即ち，0.2m² の籠から 5～7L、総数 15,000 粒の種苗が完全に養成された．

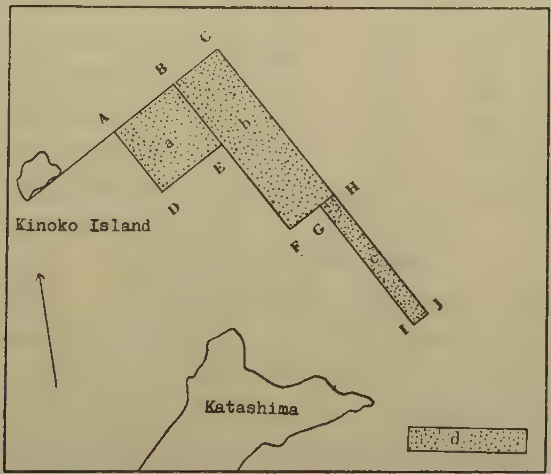
1L 切桝 1,650粒位，殻長の 10mm の種苗を 1 are 9万粒位の割合で，本田に蒔付して養殖すると，1ヶ年の後殻長 32mm の大きさに成長し，販売する大きさとなる．このときの歩留は 30～40% である．1L 盛桝70粒以上の大きさを販売に供すると，残り半数は翌年，1～2月頃，発生後満2年半，殻長42mm （盛桝 1L 40粒）となり，全部販売することができる．成長の速かな場合は，大部分を1ヶ年で採り上げ，資金の運転を早くする．最近は大部分1ヶ年養殖の上採取し，次年度には採り残しのものが約2割，3年貝として採取される．1～3月採取のものは，農産罐詰工場の原料不足の時期に当るので，加工原料として歓迎され，味付罐詰として製造されている．

(IX) 人工採取種苗の養殖例

1. 1951年採取種苗の養殖成績： 笠岡市神島内漁業協同組合では，1951年7月29日～31日に，ワラマブシ採苗器2,126房を中海荒島村地先，水深5.4～6m のところに建込んで採苗した．そして，9月27日及び10月1日に，2,080房をとりあげ(亡失46房，2.6%)貨物自動車4台で輸送し，岡山県下の自己漁場に移殖した．又，この自己採苗の外に，地元漁業組合が採苗したもの，681房を購入して移殖した．自己採苗分1房当り88•41円，購入分113•41円であった．第1回輸送はトラック2台で行ったが，9月28日着の採苗器1,000房から540L，2,550千粒の稚貝が脱落した．第2回，10月2日着はトラック2台で，採苗器1,080房から810L，3,735千粒の稚貝が脱落した．第3回10月14日着購入分は，トラック1台581房で，脱落稚貝810L，2,925千粒であった．1房当り，夫々2,550粒，3,458粒，4,570粒で，時期がおくれる程種苗は大きくなり，脱落量も多くなる．

中間育成場は横島の瀬戸，弁天島，片島の小高丸，州の丸の前，州の丸の後，汐早，下浦及び西浦の8ヶ所で，脱落稚貝は特に，潮流の早い風波の難の少ない，下浦，西浦及び汐早へ地蒔して育成した．他の採苗器は大潮及び小潮の干潮線間の干潟に，地盤から60cm 位の架棚を作り，これに密に架けて育成した．架棚は25m のもの4棚宛，横島の水産研究所前及び弁天島に建設し，その後，密なる所を間引して，購入種苗を含めて片島へ場所を拡張して育成した．

種苗は育成して大きくなったものから，順次とりあげて本養殖場へ蒔出した．その数量はTable 19 の通り，合計27,074L で，その粒数は33,867千粒と計算された．蒔付まで総計



Text-fig. 19. Culture ground for raising artificial seeds from spat collected in 1951.
Line of unobstructed view.
A. B. C : South of Kinoko and Shògahana of Katashima.
C. H. J : Chúgokuya of Seto and Tenjinyama.
F. G. H : End of Nishiura and a pine-tree of Kotakamaru.
B. E. F : Top of Mt. Myòjin and a west telegraph pole of Seto.
G. I : First telegraph pole of Seto and last pole.
Culture ground area.
a : 333 ares ; b : 583 ares ; c : 130 ares ; d : 150 ares.

Table 19. Culture of artificial seeds from the spat collected in 1951.

Culture ground	Number of collectors	Cultured seeds (L)	Size of seeds no. per 1.8 L	Number of cultured seeds	Number of seeds per collector
Seto	638	6,516	2,950	9,588,900	15,077
Bentenjima	678	7,220	2,950	9,757,400	14,391
Kotakamaru	610	1,800	2,800	2,806,000	4,600
Sunomaruato	156	900	2,300	1,154,000	7,397
Sunomarumae	681	5,382	2,100	6,323,200	9,285
Siohaya	⊕	918	2,300	472,000	⊕1,660,000=360L
Nishiura	⊕	2,808	2,050	1,875,800	⊕4,625,000=990L
Shimoura	⊕	1,530	2,800	1,890,000	⊕2,925,000=810L
Total	2,761	27,074		33,867,290	

Remarks: ⊕ Spat detached from collectors during transport.

Table 20. Growth of artificial seeds raised from spat collected in 1951.

Date \ Culture ground	East of Kinoko	Toishibana
1952 Apr. 26	2,370	2,300
〃 May 28	1,470	1,420
〃 July 24	724	1,290
〃 June 24	330	780
〃 Aug. 20	190	320
〃 Sept. 7	152	210
〃 Oct. 24	137	168
〃 Nov. 23	110	140
〃 Dec. 22	108	132
1953 Jan. 12	124	135

Remarks: Number of seeds per 1.8L ("Kiri-masu").

515,237円を要し，1,000粒当り15・20円に相当する．養殖場は Text-fig. 19の通りで，木の子養殖場1,050 ares，砥石鼻養殖場 150 ares 合計12 h.a. である．その成長は Table 20に示すように，極めて順調で，1952年11月15日，試験的に29貫を採取し，本格的には Table 21 の通り12月18日より翌年5月1日まで，53回人員 966人で 29,193貫をとりあげた．その収支は Table 22 に示す通り，本養殖場蒔付終了までの経費467,440円 (a+b) に対して，収入は1,710,015円で，取揚諸費・剝身費及び技術員給 (c+d+e) を引き去り，純益225,028円を得た．しかし，本年は蒔付稀薄の感あり，成貝取揚に困難して残留貝あり，撰別して小型のもの，1,192貫を再び養殖場へ戻したので，約10%2,900貫の残留貝があるものと予想された．これを翌1953年に於て取揚したところ，延人員218人で，5,087.6貫，279,818円の収入を加えることができた．即ち，第1年目の取揚量の約20%が残留貝として，第2年目に採取されたのである．そのため，純益は439,446円となり，採苗器2,761房から合計33,088.6貫を取り揚げたことになる．1房当り11貫984匁を取り揚げて，159円の収入を得たのである．養殖面積は木の子東及び砥石鼻の両養殖場，合計 12 h.a. で，第1年目に，29,193貫を取り揚げたから，10 ares 当り243貫275匁，12,164円（貫当り50円替）の収入である．

2. 1952年採取種苗の養殖成績：—1952年には採苗器の投入を7月25日に初め，9月11日まで8回に亘り，約1万房を採苗した．その詳細は島根水試中海分場 (1952) によると，浮游仔虫出現の山は7月中旬，8月上旬，下旬，9月上・中旬の4回現われ，特に9月上・中旬に最も濃密に出現した．9月20日には Full-grown stage の仔虫が最も多く，5m の垂直曳1回で

Table 21. Harvest of marketable size clam during 1952-53 from the spat collected in 1951. Unit: *Kan* (=3.75kg)

Date		Number of persons	Maximum *Kan*	Average *Kan*	Variation (±)*Kan*	Harvest *Kan*
Nov.	15	1	29.0	29.0	—	29.0
Dec.	18	10	56.4	29.6	9.16	296.0
〃	22	16	89.5	48.2	12.91	771.8
〃	26	10	57.3	36.8	8,07	367.9
〃	27	11	81.0	50.6	10.22	557.5
〃	30	15	128.5	52.7	21.63	790.6
Jan.	3	8	54.7	39.3	9.78	314.2
〃	5	20	87.0	61.5	17.80	1,229.2
〃	9	17	60.8	30.3	10.56	515.0
〃	11	19	84.1	56.9	13.10	1,080.2
〃	18	18	72.2	48.7	12.85	877.2
〃	21	16	90.1	40.2	14.10	642.9
〃	23	17	59.7	38.5	12.00	654.2
〃	25	20	94.6	40.0	13.85	800.8
〃	26	19	49.1	33.3	7.55	633.4
〃	31	9	60.0	28.3	14.76	254.5
Feb.	1	37	78.5	35.3	14.29	1,306.9
〃	2	33	60.3	30.9	10.91	1,018.1
〃	3	40	49.9	20.5	10.89	818.9
〃	4	42	—	35.3	—	1,483.8
〃	5	42	—	40.9	—	1,717.2
〃	18	37	41.0	22.8	6.40	849.1
〃	19	36	38.7	22.4	7.32	805.1
〃	20	31	45.5	23.9	7.86	742.3
〃	23	14	29.5	16.0	6.76	224.2
〃	24	49	—	44.7	—	2,189.9
〃	28	22	38.4	19.1	7.36	420.2
Mar.	2	19	32.6	20.0	6.46	380.2
〃	3	14	27.4	17.9	7.44	250.4
〃	4	15	33.8	18.6	7.15	279.6
〃	5	11	32.7	23.3	5.81	256.0
〃	6	16	32.8	20.2	5.86	323.6
〃	7	25	61.8	31.7	9.01	792.9
〃	8	22	26.7	15.2	5.97	335.4
〃	10	10	36.4	27.2	3.92	272.0
〃	11	9	23.5	13.9	6.29	125.2
〃	12	6	14.8	11.6	2.27	69.6
〃	13	7	26.1	19.1	—	133.9
〃	16	13	19.1	11.5	4.09	150.0
〃	17	16	20.0	9.7	—	155.2
〃	18	22	22.3	11.4	—	246.7
〃	19	10	19.1	13.1	—	130.9
〃	20	4	18.5	13.4	—	53.5
〃	21	14	16.2	8.6	—	120.6
〃	22	8	14.0	8.3	—	66.6
〃	23	12	19.8	12.7	—	152.7
〃	24	9	20.3	12.4	—	111.6
〃	25	5	15.2	11.8	—	59.2
〃	31	6	—	4.4	—	26.3
Apr.	2	15	—	9.0	—	134.6
〃	3	6	—	32.2	—	193.4
〃	4	6	—	14.0	—	84.1
〃	6	10	—	46.8	—	468.3
〃	8	14	—	35.4	—	495.5
〃	9	22	—	45.6	—	979.8
May	1	11	—	38.1	—	42.0
Unknown		—	—	—	—	535.3
Total		966	—	—	—	29,193.2

Table 22. Balance sheet of income and expenditure in culturing the spat collected in 1951 to marketable size clam.

Division	Amount of money (*Yen*)	Remarks
I. Expenditure	1,484,987	(100%)
a. Cost of collecting spat	328,174	(22.1%)
Materials of spat collecting	85,770	Straw bamboo and coal tar
Wages for employees	46,080	Manufacturing collectors, their setting and hawling-up
Charterage	24,650	Transport of materials, construction and hawling-up of collectors
Warehouse charges, etc.	10,661	
Cost of purchasing spat	77,300	Cost of purchasing additional spat
Travelling expenses and sundries	11,743	
Fishing charge	5,000	
Freight	66,970	4 auto-trucks, etc.
b. Cost of culture	139,266	(9.4%)
Materials	12,630	Bamboo and rope
Wages for employees and charterage	95,720	
Expenses of travelling and communication	21,826	
Cost of implements	9,090	
c. Harvesting cost	640,377	(63.1%)
Cost of watching	5,000	
Wages for harvesting	544,537	
Cost of implements	3,190	
Cost of acknowledgement	87,650	
d. Cost of processing	280,870	(18.9%)
Cost of shucking	192,580	
Cost of fuel	63,300	
Cost of receptacles	21,175	
Hire of implements	3,815	
e. Salary of technicians and watching cost	96,300	(5.8%)
II. Total income	1,710,015	
Sales of intact clam	42,495	864 *Kan* (intact clam)
Sales of shucked clam	1,667,520	5,351 *Kan* (clam meat)
III. Clear profit	225,028	
(Additional profit from left-over clam	214,418)	

595個を算えるに至った．従って附着も極めて良好で，岡山県水指（1953）によれば調査18房の中，最低34,065粒，最高119,556粒，平均66,027粒附着し極めて好成績であった．採苗器の取揚げ及び輸送は9月29日，30日，10月2,5,7,18日及び25日の7回に亘り，総計9,166房を移殖した．この内訳は自己採苗が3,928房，地元組合採苗5,238房である．今年から中海赤貝種苗組合と共同経営により，移殖後の養殖を担当することとなり，今後，種苗を充分確保することが出来るようになった．

種苗の育成場は弁天，片島の州の前，汐早，西浦，鳶の巣，景浦及び金敷の7ヶ所で，12月

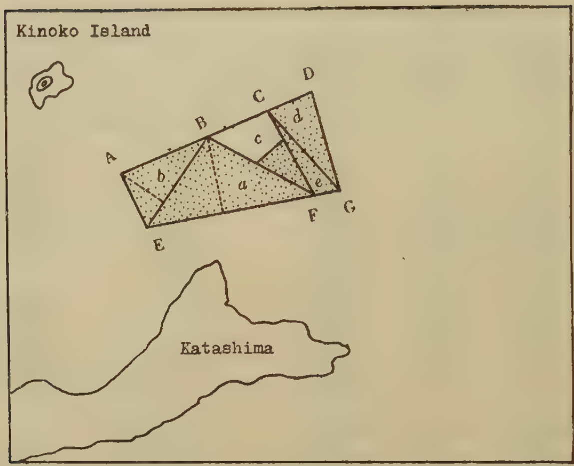
Table 23. Culture of artificial seeds from spat collected in 1952.

Date of harvesting	Cul-ture ground	Size of seeds (no. per 1.8L)	Amount of harvest (×1.8L)	Number of cultur-ed seeds (×1,000)	Date of harvesting	Cul-ture ground	Size of seeds (no. per 1.8L)	Amount of harvest (×1.8L)	Number of cultur-ed seeds (×1,000)
Dec. 20	A	4,500	1,100	4,950	Jul. 2	B	600	400	240
〃 21	A	〃	400	1,800	〃 3	〃	650	340	221
〃 22	A	〃	10	45	〃 〃	〃	1,000	190	191
〃 29	E	3,600	400	1,440	〃 4	〃	650	340	221
〃 30	A, D	1,700	900	1,530	〃 5	〃	〃	400	260
Jan. 1	D, E	2,660	500	1,330	〃 6	〃	600	300	180
〃 7	C	6,000	70	420	〃 〃	〃	700	130	91
〃 11	B	1,100	430	473	〃 7	F	900	340	306
〃 13	B, D	1,900	700	930	〃 8	B	600	400	240
〃 20	B	2,840	100	284	〃 〃	C	550	450	28
Mar. 3	A, B	2,800	210	588	〃 9	B	〃	250	138
〃 4	B	2,880	278	800	〃 〃	D	510	100	51
〃 5	B	2,800	167	450	〃 〃	A	470	250	※118
〃 6	A, D	4,000	198	790	〃 10	B	550	240	132
〃 7	A	〃	62	248	〃 〃	D	510	〃	122
〃 17	C, D	4,300	253	1,088	〃 〃	A	520	110	※ 57
〃 18	B, C	4,600	126	578	〃 11	B	550	150	83
〃 19	〃	4,000	223	929	〃 〃	D	510	400	204
〃 20	〃	10,000	48	408	〃 〃	A	490	224	※110
〃 27	E	〃	141	1,411	〃 12	B	550	150	83
〃 30	〃	8,500	287	2,420	〃 〃	A	510	210	107
Apr. 12	A, E	7,200	268	1,460	〃 〃	〃	470	115	※ 54
〃 13	〃	6,500	485	3,154	〃 13	B	600	60	36
〃 14	A,D,E	4,600	281	1,230	〃 〃	D	510	300	153
〃 15	〃	〃	739	3,400	〃 17	〃	410	350	144
〃 26	B	2,400	1,300	3,120	〃 18	〃	525	220	116
〃 27	B, E	3,700	850	1,765	〃 20	B	410	250	103
〃 28	A	1,500	700	1,050	〃 22	〃	430	390	168
May 14	A, B	〃	1,100	1,370	〃 23	〃	400	350	140
Jun. 23	B	530	350	186	〃 〃	G	500	100	50
〃 24	〃	1,000	150	150	〃 24	B	430	350	151
〃 〃	〃	530	300	159	〃 25	F	670	270	181
〃 25	〃	650	470	306	〃 26	B	350	100	35
〃 26	〃	〃	400	260	〃 〃	B, D	420	200	84
〃 27	〃	50	250	163	〃 27	〃	〃	390	164
〃 28	〃	650	340	221	〃 28	〃	380	320	122
〃 29	〃	〃	370	231	〃 29	B	〃	240	91
〃 30	〃	〃	420	273	〃 30	〃	〃	400	152
					Total			24,843	46,486

Remarks: A: Benten B: Shiohaya.
C: Sunomae D: Tobinosu.
E: Nishiura F: Kageura.
G: Kanashiki

※ Transplanted to Furue adult culture ground; all other seeds to Kinokoshima-higashi culture ground.

20日より翌年7月30日まで，Table 23 のように，248・431石を取り揚げ，その蒔出粒数は46,486千粒と計算された．その蒔付場所は Text-fig. 20 の通り，片島東方に781 ares, 古江地先 14 ares, 合計795 ares である．本田蒔付後のサルボウの成長は極めて順調で, Table 24 の通り，前年より成長速かで，6月末に，1升切枡600粒のものが，11月23日の調査では，片島で131粒，古江で113粒となり，12月30日には前者は122粒，後者は105粒となり，驚く



Text-fig. 20. Culture ground for raising artificial seeds from spat collected in 1952.
Line of unobstructed view.
A. B. C. D : End of Kamenokubi and end of Shiogahana.
A. E : Two pine-trees of Nishiura and shrine-entrance of Katashima.
D. G : End of Myôjin and a telegraph pole of Seto.
G. E : North of Yokoshima and end of Shiogahana.
Culture ground area.
a : 333 ares ; b : 152 ares ; c : 80 ares ; d : 141 ares ; e : 75 ares ;
Total : 781 ares.

Table 24. Growth of artificial seeds raised from spat collected in 1952.

Date (1953) \ Culture ground		Kinokoshima	Furue
Mar.	6	4,000	
Jul.	9	600	470
〃	25	405	380
Aug.	24	305	230
Sept.	22	210	175
Oct.	27	175	150
Nov.	23	131	113
Dec.	30	122	105

Remarks: Number of seeds per 1. 8L (“Kiri-masu”).

程成長良好であった．

取揚は昨年の採取日当，平均600円を標準として，採取量が多くても賃金は甚しく多くならないような係数を算出して発表し，採取能力差による賃金の差を少なくする等，採取に対して改善を行った．また中海で使用される桁網を導入して採取を初めたこともその一つである．即ち，中海からソリコ舟3隻と漁夫3人とを傭入れ，桁網による採取方法を組合員に教え，従来の貝鋤簾のように，干潮時だけしか取揚が出来ない不便をなくし，養殖場を沖合へ拡張して深所を利用する準備をした，桁網によるサルボウの採取は貝鋤簾より遥かに能率的で，貝鋤簾で採取した跡の残り少ない漁場に，後さらえとしてこれを使用し，1日1隻平均75貫のサルボウを採取することが出来た．

取揚は12月17日に試験的に19貫を揚げ，18日より本格的採取を行い，Table 25 の通り，4月5日までに67回1,166人で68,832貫を取揚げた．そして12車（30,500貫）を島根県に殻付のまま移出販売し，35,843 貫を剝身し，主として，罐詰会社へ販売した．その収支の内訳は神島内漁業協同組合の報告によると Tables 28 及び 29の通り，蒔時までの費用986,126円を投資して，4,436,124円の収人を挙げ採取賃その他の支出総計2,450,139円を引き去り

1,985,985 円の純益を挙げた．剝身加工処理による利益 277,063 円を加えると，実に，2,263,048 円の利益を挙げる好成績を納めた．10 ares 当りの生産は昨年より成績よく，866 貫55,824円と云う驚異的好成績を示した．

古江養殖場は大型種苗であったことと，養殖期間の短いため成績稍悪く，その詳細は次の通りである．即ち Table 25※印に見るように，7月 9 日から12日までの 4日間に，弁天育成場から，1升 520～470 粒の大型種苗，6•985石（概数338,265粒）を取揚げて蒔付した．7ケ月の後，翌年2月10日より21日まで6回に人員34人で，942•9貫を取り揚げた．1 升500匁として18•86 石を採取したこととなり，1 升120粒と計算すると，226,320粒となり，歩留 67% となる．10 ares 当りに計算すると709貫である．(Tables 20 及び 24の成長度は切桝の粒数，取揚げは盛桝の粒数で計算．商習慣による)

Table 28 及び Table 29は本組合の累年養殖成績を総括したものであるが，これを検討すると，この事業の成績に就て示唆に富む色々の問題を窺うことが出来るだろう．即ち，移殖房数が増加するに従い，1 房当りの取揚粒数が少なくなり，また収獲貫数が少なくなって来る傾向が見られる点である．このことは海苔，牡蛎其他養殖場に於て屢々見られる現象であって，漁場の生産力としての余力があるかどうか，放養総量をどの程度に止むべきか，漁場

Table 25. Harvest of marketable size clam during 1953-54 from the spat collected in 1952.

Date	Number of persons	Harvested weight (*Kan*)
Dec. 17	1	19.0
〃 18	12	356.6
〃 19	11	941.2
〃 21	18	2,230.8
〃 22	21	3,140.4
〃 23	11	1,920.8
〃 25	22	2,306.7
〃 26	10	735.6
〃 27	18	2,252.8
〃 28	19	1,649.5
〃 29	20	1,629.9
Jan. 4	14	1,362.1
〃 6	10	856.5
〃 7	10	837.7
〃 8	23	2,517.2
〃 9	25	3,073.9
〃 10	30	2,548.0
〃 11	3	203.8
〃 12	31	1,568.0
〃 13	17	1,302.0
〃 14	35	2,701.7
〃 15	4	297.9
〃 16	3	231.1
〃 18	3	257.4
〃 19	27	4,087.0
〃 20	32	3,198.9
〃 21	23	1,707.9
〃 22	33	2,548.7
〃 23	34	1,548.7
〃 24	36	1,113.1
〃 26	10	506.1
〃 27	31	2,146.0
〃 30	10	342.6
〃 31	24	1,408.2
Feb. 1	15	639.1
〃 3	10	515.4
〃 7	12	520.8
〃 8	13	504.8
〃 9	18	787.9
〃 10	25	1,351.5
〃 11	31	1,060.2
〃 12	29	956.7
〃 13	3	175.4
〃 14	3	186.3
〃 15	3	139.6
〃 16	4	56.8
〃 17	19	776.8
〃 18	23	724.2
〃 19	28	742.8
〃 20	26	638.3
〃 21	20	441.8
〃 22	19	488.7
〃 23	19	591.4
〃 24	19	577.2
〃 25	19	506.7
〃 26	19	369.5
〃 27	15	252.5
〃 28	7	300.5
Mar. 1	16	193.7
〃 2	19	324.0
〃 3	19	211.9
〃 4	16	194.2
〃 6	11	127.4
〃 7	12	102.0
〃 8	12	158.3
Apr. 4	16	480.3
〃 5	15	187.4
Total	1,166	68,832.3

Table 26. Income and expenditure in culturing the spat collected in 1952 to marketable size clam.

Division	Amount of money (*Yen*)	Remarks
1. Expenditure	2,450,139	
Costs of collecting spat and culture	986,126	
Harvesting cost	749,258	
Carriage and packing charges	300,299	
Charterage and salary	260,799	
Miscellany	153,657	
2. Income	4,436,124	
Sales of intact clam	2,477,100	To Shimane Pref. 30,500 *Kan*
〃	23,134	Local 381 〃
〃	1,935,890	For shucking 35,198 〃
3. Clear profit	1,985,985	

Table 27. Income and expenditure of shucking in 1953.

Division	Amount of Money (*Yen*)	Remarks
1. Expenditure	2,578,062	
Clam cultured by the Co-operative	1,935,890	Intact clam 35,198 *Kan*
Clam purchased from others	35,480	〃 645 *Kan*
Wages of shucking	290,565	
Fuel	113,873	
Carriage implements and brokerage	57,979	
Salary and hire of implements	101,275	
Miscellany	43,000	
2. Total income	2,855,125	Meat weight: 22.6% of intact clam
3. Clear profit	277,063	

Table 28. Comparative table of collected spat and cultured seeds in consecutive years.

Year of spat collecting	Number of collectors	Number of collected spat per collector	Total number of collected spat (×1,000)	Volume of cultured seeds (*Koku*)	Total number of cultured seeds (×1,000)	Number of cultured seeds per collector
1950	1,131	15,000	16,965	49.95	15,254	13,487
1951	2,761	20,000	55,220	150.45	33,867	12,270
1952	9,166	15,000	137,490	248.43	46,486	5,072
1953	15,115	31,000	466,364	1,280.75	377,580	24,980
1954	23,953	2,740	65,660	649.33	65,786	2,746
1955	17,226	17,000	292,842	488.26	28,865	1,676
1956	14,833	33,560	507,795	689.20	230,199	15,519

1 *Koku* = 180 L.

Table 29. Comparative table of harvested weight and gross receipts in consecutive years.

Year of spat collecting	Weight of harvested clam (*Kan*)	Gross receipts (*Yen*)	Weight of harvested clam per collector (*Kan*)	Weight of clam left over (estimated) (*Kan*)	Area of culture ground (*Tsubo*)	Remarks
1950	17,660	959,825	19.0	2,900	6,000	New shells
1951	33,088	1,431,636	11.6	8,400	40,000	New 29,193 *Kan* Old 3,895 〃
1952	68,832	4,506,125	14.4	80,000	23,840	New shells
1953	99,331	3,644,635	7.7	100,000	113,646	New 36,000 *Kan* Old 63,331 〃
1954	268,863	8,380,087	18.9	100,000	28,250	New 188,863 〃 Old 80,000 〃
1955	273,564	11,836,450	7.5	100,000	10,910	New 19,000 〃 Old 254,564 〃
1956	207,572	6,631,106	13.3	100,000	88,300	New 98,000 〃 Old 77,800 〃 〃 31,772 〃

1 *Tsubo* = 3.306m²

の老廃を如何にして防ぐかは今後の研究問題であろう．

(X) サルボウの養殖に関する今後の問題

以上，サルボウの養殖について，主として，中海の種苗を使った例を中心として，これを一応集約的に行うことが出来ることを述べた．しかし，この養殖を各地の沿岸に広く，普及させるためには，今後なお調査・研究せねばならぬ面を多く残している．次にこれらの点を要約して述べよう．

1. 採苗に関して：一現在，採苗を大規模に実施している水域は中海のみであり従来，各地でサルボウの人工採苗を試みているが，成功した例は甚だ少ない．最近，佐賀水試有明海分場（1952～55），山口内海水試(1959)，岡山水試(1959，未刊)，大阪水試（1959）によると，中海以外の瀬戸内海及び九州有明海に於てサルボウの人工採苗が成功して，経済的に可能なことが示唆されたが，このような地域が東京湾その他にも求められると思われる．現在はサルボウの養殖種苗は中海産のもののみで賄ない得るとしても，養殖が広く行われるようになるとき，果してその需要に応じ得るかどうかという問題と関連して，この点の調査が行われることが望まれる．

一方，中海でも人工採苗を今よりもっと確実に行うことができるように，また，採苗数を従来より一層増加させるために，技術的に，又経営上，多くの配慮が払われねばならぬだろう．採苗場所の拡張や，単位面積当りの水面におかれる採苗器の限度についての調査もその一例である．中海では根拠地である意東（東出雲町）から遠くはなるが，仔虫の分布が多い東の方へ採苗場を拡張すべきであろう．また，1954年には6万房の採苗に対して約330haの面積を使用したが，柵の間隔18m，50柵毎に90mの汐通し，180mの船通しというような，疎開採苗が必要かどうか．勿論，汐通し，船通しを広く開けることは，潮流の疎通を良くし，種苗の附着を平均化することを目的として行われたのであるが，別に採苗器の設置によって，これに蝟集する，ボラ・クロダイ・スズキ・ウナギ等の魚類を漁獲する囲刺網・延縄

等の漁業に対する配慮もあっただろう．ただ，この採苗器の密度がこの水域に適当のものであるかが今後の問題として残される．

2. 中間育成に関して：—種苗を移殖して後，養殖場に蒔付けるまでの間には，かなりの歩減がある．移殖成績が挙がらぬ場合には，この歩減が関係していることが多いようである．広島水試（1953～54），岡山水指(1953～54)によっても，殻長2mm 以下の微小稚貝を移殖した場合には歩減が甚しいことが判る．移殖は時期的に，稚貝が 3mm 以上に成長した 9 月下旬～10月下旬の頃，行われるのが適当と考えられるのであるが，中間育成技術については，移殖地の環境と関連して更に充分な研究が望まれる．なお，今後の対策の一つとして，中海の外海水の疎通の良い，赤汐に影響されぬ地域が相当あるから，これらの地域で中間育成を行い，育成種苗として移出することが考えられる．

3. 養殖適地に関して：—岡山水試(1922～28)，愛知水試(1926～31)，佐賀水試(1951)大阪水試（1959）によって，報告されているように，サルボウの自然棲息地は全国的にかなり広い範囲に亘っていると考えられる．棲息量が稀でない水域では，種苗の移殖を行う可能性が一応考えられるけれども，この点を的確に判断することは今のところ難しい．現在，岡山県下で養殖場として，成績を挙げている処は嘗ての調査（浅海適地調査）でサルボウの棲息が確認されていた処であるが，移殖成績の良，不良は環境条件の判定のみでなく，移殖方法，移殖後の管理等の如何によって左右されるので，これだけの資料では判定の基礎にはならない．

従来，各地でサルボウの移殖試験が行われたことは，次の各県水産試験場の報告書に見ることができるが，その試験結果は余り香しいものではない．愛知(1926～29；1938～40)，静岡(1926～29)，宮城(1927～28)，秋田(1922)，福井(1924～25；1930)，岡山(1926～38)，広島(1923～24)，山口(1902～03)，徳島(1904～08；1926～27)，大分(1932～33)，熊本(1936～37)，北海道(1936～37)，東京(1929～32)，富山(1932～34)，福岡(1935～36)，長崎(1912)，鹿児島(1938)，石川(1920)，京都(1922)．従来サルボウの移殖については，少くとも次の2つの考え方がある．1つは藤森（1929）が試みたように，移殖種苗を母貝として，その自然繁殖を想定して行う場合であり，他は養成を目的として種苗を移殖する場合である．前者の場合も，後者の多くの場合と同様，成功した例を聞かない．前者と後者の場合とでは，それに必要な条件が必ずしも一致しないであろうが，いずれにしても，移殖適地の認定のために単に主観又は経験による見当ではなく，必要な予備知識を持つことが必要である．

4. 養殖場の沖への拡張に関して：—従来サルボウの養殖場は大干潮線附近から 3～4m の浅海で行われていたが，本文で述べたように，これを沖方に拡張することができる．この場合，他漁業との関係は別問題として，採取コストの問題は漁具を従来の長柄の貝鋤簾から桁曳に転換させることで解決できる．従前の比較的浅い場所と，沖合の深い場所とで生産量（貝の成長・歩留り）がどのように違うかは今後の研究課題となろう．また，従来浅い場所が環境上，不適当であっても沖方の深い場所に適地が求められる場合もあろう．このような点に留意する必要がある．

5. 管理に関して：—従来，サルボウの種苗を移殖して，養殖成績の不良の場合は，養殖適地の撰定を誤ったのを別として，その管理の不充分の場合が極めて多い．移殖事業が補助金等の援助で行われる場合は特に，その管理がおろそかになり，放任されている場合が多

い．その管理に熱意を起させる一つの方法として，貝の成長を測定させて興味を起させることである．筆者はこの方法を勧めて管理の成績を挙げている．即ち，養殖場の各地から毎月，貝を採取して，1升桝又は茶碗等の特定の容器に切桝で測り，その容器内の貝の数を算えて記録させる．Tables 20及び24のように，時期が移るに従い，その数は少なくなり，1升切桝120～130粒になれば，販売に供せられる大きさとなる．特に，春から夏にかけては，その成長が速かで，4月中旬1升切桝3,000粒のサルボウが5月に1,500粒，6月に750粒，7月に350粒というように，急激に数が減る．歩減を度外視すれば，それだけ，海に放養されているサルボウが増量している訳で，当業者にはその利益が単純に明かとなるからである．素人にはこのような簡単な測定方法により貝類養殖の興味を起させ，管理に力を入れる様指導する必要があろう．

6. 共同経営に関して：一従前の例によると，島根県側の業者が種苗を提供して，岡山・広島・佐賀の諸県の業者が養殖を担当し，生産したサルボウの水揚高を5：5又は6：4に歩合分けして，経営が行われている．この場合養殖成績が良い時には，種苗提供側に有利となり，成績が悪い時には反対に不利となる傾向がある．養殖成績の如何によって，利益配分が合理的であるかどうかが問題なのである．歩合は初めの契約によって，話合で決められる場合が多いけれども，養殖成績が安定すればともかく，養殖場の環境によって，それが区々であるので支障が起きる．将来サルボウの養殖が全国的に普及すると，この経営様式がそのまま続くかどうかは疑問であるが，共同経営はそれが，種苗提供業者と養殖業者の相互の理解の上に行われるならば，今のところ，サルボウ養殖技術の進歩の上にも，又その普及の上にも合理的な一型式であると考えられる．

(XI) 二枚貝人工採苗の理論とその応用

二枚貝の人工採苗は前述したように，浮游仔虫の形態並に生態を明かにし，特に，その成熟仔虫の出現時期と附着層とを詳かにすることが必要である．二枚貝の成熟仔虫はその附着に対して，生態的に共通の性質を持っているので，貝類人工採苗の理論は，次の3段階に要約することが出来る．

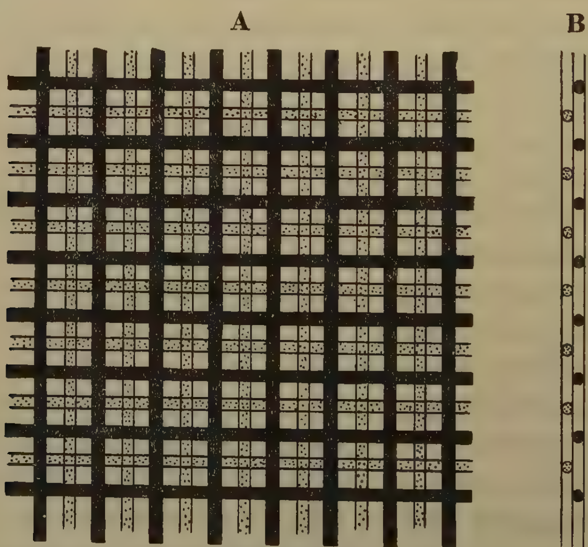
1. 採苗器は流れの疎通の良い水路が生ずる様に配置し，仔虫が採苗器に速かに辿り着くようにする．
2. 仔虫は採苗器の表面の凹所又は凸所の陰（一種の凹所）に，撰択附着する性質があるから，採苗器は仔虫の好む大きさの凹所の多いものを用いる．
3. 附着した仔虫が稚貝に成長するまでの間，他の動物の食害に依り，歩減するから，生残率が高くなるよう保護育成する．

以上の点を更に詳細に説明すると，次の通りである．

1. 附着時期に達した成熟仔虫は，足を出して游泳するようになる（Plate 3, fig. 15 参照）．これら仔虫を硝子水槽に飼育して，よく観察すると，足を左右に大きく動かして，恰も附着物を探しているが如き動作をしながら游泳する．足には無数の繊毛がはえていて，これが一種の感覚器官で，水路の流水中で，波動又は流れの緩急を感知して，自らの游泳力に加えて，足を舵とし，流れを利用して水路の縁辺の附着物に，速かに辿り着く．それゆえ，採苗器を柵立てて，流れの緩急が生ずるように配置すれば，仔虫が採苗器に辿り着く上に於

て極めて有効な手段となる．このことは，各地の牡蠣採苗場に於て，経験的に採苗上有効な手段であることを知り，一般に流れを阻害しないよう，水路を設けて採苗器を設置して，採苗成績を挙げている．しかし新しい漁場又は筏で採苗する場合は，未だこの理論を知らず，潮の疎通を阻害し，乱雑に採苗器を設置している現場を見ることがある．これらは流を妨げないよう採苗器の設置配列に注意し，有効に採苗できるようにしなければならない．

2. 仔虫は採苗器に辿り着いた後，附着物の上を足を以て匍匐前進しながら，自分の附着する最良の場所を探し廻り，若し適当な所がなければ，離れて泳ぎ，再び次の場所に於て，同様に這いながら慎重に附着場所を探す（Plate 3, fig. 16 参照）．採苗器を海中につけて，24 時間経って取り揚げ，附着間もない牡蠣仔虫の附着している場所を，詳細に観察すると，仔虫が附着している場所は必ず凹所である（Plate 3, fig. 18 参照）．一般に貝類仔虫が自ら撰んで附着する場所は，凹所又は凸所の陰（一種の凹所）であって，貝類仔虫ばかりでなく *Balanus* の cypris も同様である．これら仔虫又は幼虫が凹所を撰んで附着するということは附着動物に共通の性質のようである．附着間もない牡蠣仔虫の附着している凹所を，paraffin で型をとり，micrometer で測定した結果は深さ 0.4～1.8 mm, 幅 1.2～4 mm である．仔虫が附着に際して，凹所を撰ぶ理由については，光線の関係か，渦流に依って餌料が集る関係か，外敵から身を護る為か，明かでないが，凹所は物陰で安静であることが附着行為を行うに便利である為と考えられる．牡蠣や帆立貝の採苗器として賞用される板屋貝，赤皿貝，帆立貝，又アコヤガイの採苗に賞用される杉の葉などは，かかる凹所が多いのに依るのであろう．それゆえ人工採苗器にはその表面に，このような大さの凹所又は凹所の出来る凸所を作る必要がある．その最も理想的の形として，細目のモヂアミを 2枚又は 3枚，上下左右，半目毎ずらしてミシン縫いした Text-fig. 19 に示す様な重ね網式採苗器を考案した．之を採苗器として用いる時は網目毎に凹所が出来て，2 枚合せの場合は反対側の網の裏側に多数の仔虫の附着を見る．このことは Plate 3, figs. 19, 20



Text-fig. 21. Double-net collector.
A : Ground plane ; B : Side view.

に示す様に，帆立貝（木下，1958試験），赤皿貝（小寺，1958試験），サルボウ（日下部，1957～59試験），ホトトギスガイ（日下部，1958～59試験），アコヤガイ（太田1958）の採苗試験に於て実証され，之がアコヤガイの採苗に用いられ実用の段階に這入るに至っている．サルボウ採苗の1例を示すと，ビニロン糸4本撚り網目4mmのモヂアミ2枚合せで10cm平方に殻長4～5mmの稚貝2,263粒（1米平方226,300粒）の附着を見た．仔虫は動揺する不安定の採苗器には附着を嫌う性質があるので，この重ね網式採苗器を用いる場合，海中で甚しく動揺しないよう重石をつけ，流れに平行に設置する注意が必要である．

3. 仔虫は採苗器に附着後，急速に成長し母貝と同じ炭酸石灰を含む固い丈夫な殻を分泌する．しかしその成長過程に於て，自然に死亡し，又は他の動物（魚類，蟹類）の餌となり，被害を受け歩減りする．斃死や食害を防ぎ生残率を高くすることは，人工採苗上最も必要なことである．即ち他動物の食害を防止するような構造又は手段は，人工採苗上育成ということが必要な所以である．稚貝は養殖種苗として適当の大きさまで育成し，初めて運搬移殖に際して歩減りの少ない，丈夫な養殖に適する商業的種苗になるのである．サルボウの人工採苗に於てシダマブシ採苗器が好成績を納めているのは，附着材として良いばかりでなく，仔虫の集積するような構造であり，これが又，網目のような役目をして外敵生物の食害を防ぎ，保護育成の効果があるためと解される．重ね網式採苗器では網目毎に多数の凹所を構成して，良き採苗器であるばかりでなく，網目で外敵生物の食害を防ぎ，保護するという働があり育成を兼ねた採苗器である点に特長がある．そのために一層顕著に採苗の成績を発揮するものと考えられる．

(XII) SUMMARY

(1) Introduction

(i) During the last war, propagation of ark shell (*Anadara subcrenata* (LISCHKE)) culture was planned as a part of the national program for increasing food production. The plan consisted in exploiting those potential culture grounds for this clam which were found in various parts of the country by planting them with the seed clam collected by artificial methods. Since methods of collecting ark shell seed on a large scale had not been known by that time, national research fund was defrayed in 1942 for the development of such methods. And I was engaged in this project as the researcher in charge.

(ii) This paper presents the results of the research carried out under this project, together with the results of the studies which I have done thereafter. I wish to extend my sincere gratitude to Mr. S. FUJIMORI, Dr. K. UCHIDA, Dr. M. TAUCHI, Dr. T. HANAOKA and Dr. Y. ÔSHIMA for their kind advice, and to Mr. F. MIZUNO, Mr. M. KAWAJIRI, Mr. K. TANAKA, Mr. H. TOKUNAGA and the late Mr. K. HATA who were engaged in the research with me.

(2) Ecological Studies

(i) The ark shell, called "sarubo" or "mogai" in Japanese, is a bivalve inhabiting the bottom of calm bays and is widely distributed along the coasts of our country. Its annual production amounts to about 18,000 metric tons, and its principal production

centers are Tôkyô Bay, Ôsaka Bay, Kasaoka Bay, Ariake Bay and the Nakanoumi.

(ii) This clam usually inhabits those shallow waters of a well-protected bay which are comparatively calm and whose bottom is composed of mud or sandy mud. It lives best in the depths of 1 to 7 m and buries itself shallow in the bottom, attaching itself to the sand or sandy mud by its byssus. The optimum range of specific gravity (σ_{15}) of sea water is from about 18 to about 22.

(iii) The breeding season is between early July and middle September, with the peak from middle July to the end of August. The spawning begins when the water temperature on the bottom rises to about 25°C, and reaches its peak at about 27°C. The spawning occurs with the rapid rise of water temperature one to three days before the spring tide, so that, we can forecast its occurrence.

(iv) The development of this species was traced by artificial fertilization. Spawning was induced artificially. The egg is 50 to 60μ in diameter and the spermatozoon, 36 to 38μ in total length. At 26–27°C, the larval shell is completed and a larva becomes a D-form veliger in 16 to 17 hours after fertilization; one week after, the larva attains the umbo stage, when the shell becomes yellow; two weeks after fertilization, the larva becomes a full-grown veliger 280 to 300μ in length and 200 to 220μ in height, and is ready to settle. The shell has such a characteristic appearance at this stage, being very long, yellow in color, inflated in the umbonal region, and thick and robust, that we can easily distinguish a full-grown veliger of this species from those of other clams.

(v) The full-grown veliger creeps over the surface of a substratum by extending and contracting its foot until it finds a suitable spot, where it attaches itself with the byssus which it secretes. Upon settlement the larva becomes the young. The shell that is secreted thereafter differs from the prodissoconch, being greyish-white and composed mainly of calcium carbonate like the shell of the adult. The radiating ribs characteristic of the shell of this species become distinct when the shell attains a length of about 4mm, and about 30 of them are recognizable on a shell reaching a length of about 1 mm.

(vi) At the shell lengths of 10 to 15 mm, i.e., 3 to 6 months after settlement, the young detaches itself from the substratum and creeps into the bottom of the sea, where it lives for the rest of the life. Even after it has crept into the bottom mud, it attaches itself to such solid material as sand grains by means of its byssus.

(vii) According to the measurements made on alternate days after attachment, the shell length reaches 0.8mm in ten days, 1.6mm in twenty days, 2.5mm in thirty days, 3mm in fourty days, 3.5mm in fifty days and 4mm in sixty days. The best season for the growth is May and June, when water temperature ranges from 18° to 23°C. The shell length reaches 23mm at the age of one year, 32mm at one and a half year, 37mm at two years, 42mm at two and a half years and 46mm at three years.

(3) THE HYDROLOGICAL PROPERTIES OF THE NAKANOUMI

(i) The Nakanoumi is a lagoon enclosed by the Shimane Peninsula and the Yumigahama Peninsula, measuring 8.5km in circumference and 152 km^2 in area. Two islands, Daikon-jima and E-jima, are in the northern part of it. It communicates

with the sea (Miho Bay) by a channel called Nakae-seto which is 200 to 400 m in width, 7 km in length and 7m in depth. It is shallow with the average water depth of 4.6 m: it is not deeper than 2 m in its one-fourth, and is 2 to 8 m deep in the other three-fourths. Three rivers, namely, the Ôhashi, the Iu and the Iinashi, pour into it in all seasons. The exchange of water with the outside is seldom effected by the tide, but is influenced chiefly by the atmospheric pressure and the direction and velocity of the wind, because the range of tide is very small (less than 30 cm) in the Japan Sea. In winter, when the water level of the Japan Sea falls because of high atmospheric pressure, the fresh water of Lake Shinji flows into the lagoon to lower the salinity of its surface layer. In summer, atmospheric pressure is low and sea level rises in the Japan Sea, from which the sea water of high salinity flows into the bottom of the Nakanoumi to form a sharp discontinuity of salinity at the depths of 3.6 to 4.8m. Since water is shallow, it sometimes occurs after a heavy storm that the upper and the lower layer of water intermingle to make the salinity uniform throughout the depths. The water temperature is much influenced by the air temperature: it is 2° to 5°C in the surface and 3° to 5°C on the bottom in winter (January and February), and is 28° to 30°C at all depths in summer (August). The specific gravity of the water (σ_{15}) is 10 to 15 in the surface and 20 to 23 on the bottom both in summer and in winter. In June and July salinity rises in spite of much rainfall, owing to the influx of the sea water of high salinity. In a droughty year salinity is low in spite of little precipitation, because the high atmospheric pressure which prevails in such a year lowers the sea level and prompts the fresh water to flow down from Lake Shinji.

(ii) The water of the Nakanoumi contains twice or thrice as much silicate and nitrate as that of Tôkyô Bay. The concentration of silicate ranges from 5 to 10 mg/L, and that of nitrate from 600 to more than 900 mg/m^3. Soluble organic matter is present in the concentrations over 5 mg/L. Thus the Nakanoumi has the properties of an eutrophic lake. Consequently, planktonic diatoms are comparatively abundant; the species represented are those which are common in shallow seas, and belong to such genera as *Chaetoceros, Skeletonema, Coscinodiscus, Rhizosolenia, Thalassiothrix, Nitzschia, Navicula, Pleurosigma,* etc. It is not seldom that red tide is caused by the heavy growth of dinoflagellates or other planktonic organisms. There has been tendency that fine drifted sand deposits in the strait of Nakaeseto. Though a long embankment has been built in order to protect the entrance of Sakai-minato (the harbor situated in the strait) from being blocked by depositing sand, deposition of sand proceeds at such a rate that the harbor entrance has become shallower year by year and the inflow of sea water into the Nakanoumi has been hindered increasingly. As a result, the trend for the Nakanoumi to become brackish has been accelerated in recent years, and the plankton community has been changing correspondingly.

(iii) The bottom consists, in the main, of more or less blackish soft mud, rich in humus and mingled by dead shells. It is so soft that one can easily thrust a bamboo-pole to a depth of several feet. The mud is greyish blue underneath, and is overlain by a thin, blackish brown layer. Generally, it becomes increasingly blackish toward the shore.

Mud is more blackened in Yonago Bay than in other parts of the lagoon. In summer, the water of the bottom layer contains little, and in some places no, oxygen.

(iv) The famous "red tide" is brought about when the plankton organisms which have been nourished by the nutrient-rich sea water multiply into great numbers owing to the high summer temperatures. Death of these organisms, coupled with the rapid decomposition of humus due to high temperatures, produces a water mass devoid of dissolved oxygen. When this water mass moves about, it kills benthic animals and occasions heavy damage not only to the ark shell on culture grounds but also to such aquatic resources as eel, sea bass (*Lateolabrax*), octopus, blue crab, etc. The red tide that I witnessed in the middle of August, 1942 was caused by the heavy growth of *Ceratium tripos*. Red tide usually originates in Yonago Bay. Since the aforementioned embankment was constructed, red tide has been occurring more frequently in the Nakanoumi than before, because the exchange of water with the open sea has been more limited.

(4) Season of Occurrence of Ark Shell Larvae

If one attempts to collect the ark shell spat by artificial method, he should first find out in what season the free-swimming larvae of this species occur, and thus become able to foresee the time suitable for spat collection. Observations were therefore conducted at Station 1 in the center of Ara-shima Bay (water depth 5.5m) in the summer of 1943.

The observation covered the period from July 10 to September 30, 1943. During the period the plankton was collected every other day with both the plankton net and the hand pump. The plankton net was hauled vertically from the bottom to the surface three times and the catches were combined. In the collection with the hand pump, 30 L of water was drawn up from different depths of the water column at 60 cm intervals and filtered through a plankton net to recover plankton. The plankton samples were fixed in 4% formalin. After taken back to the laboratory, each sample was stirred gently, the diatoms that floated up were discarded, the material settling on the bottom of the vessel was transferred onto a ruled counting plate, and the ark shell larvae of umbo and full-grown stages were counted. The results indicated that there were two major peaks of the occurrence of the ark shell larvae: the concentration of larvae reached a maximum during August 4–7, gradually decreased thereafter, and attained another maximum during September 5–7.

(5) Horizontal Distribution of Ark Shell Larvae

For the purpose of investigating the horizontal distribution of ark shell larvae, the Nakanoumi was divided into series of squares like a chess-board. The dividing lines were 1,090 m apart. Itohana was designated the base point, and the line passing this and Nyûkô Village on the island of Daikon-jima, the base line. At each crossing of the dividing lines a bamboo-pole was set up, from which a "test rope" (i.e., a rope of hemp palm 5 mm in diameter) was suspended with a brick attached to its lower end as a sinker. After one or two months, the test rope was taken up and the number and size of the attaching ark shell spat were examined in the following manner. The rope

was cut off at every 30 cm starting from its lower end. Within each 30 cm section a portion showing the average spat attachment was selected, and two 3-cm pieces were cut off from this portion, one for examination and the other for preservation as the specimen. The spat attaching to the 3-cm piece were counted and their number was multiplied by 10 to obtain the number of spat attaching to the 30 cm section. The latter was added up to give the number of spat attaching to an entire test rope. It was assumed that artificial spat collection can be conducted with profit in those waters where more than 1,000 spat attach to a test rope. Examination of the test ropes hung in July and taken up in August showed that such waters lay near Ara-shima and covered an area of 600 ha. The test ropes hung in July and taken up in September indicated that such waters lay south by east of Daikon-jima (bounded by the lines connecting Kame-shima, E-jima, Hanyu and Ronde) and in Yonago Bay, covering an area of 1,500 ha. Those hung in August and taken up in September indicated that the waters suitable for profitable spat collection extended from the line passing Tsuzuki-jima and the mouth of Iinashi River eastwards to Yumigahama and also in Yonago Bay, a total area of 2,000 ha. The test ropes hung in September and taken up in October showed that such waters measured 3,000 ha in area and covered all over the central part of the Nakanoumi (between the line passing Kame-shima and E-jima and the line passing Itohana and Nyûkô).

Putting these data together, ark shell larvae were densely distributed chiefly in Ara-shima Bay in the earlier part of the season; with the progress of the season, they became more abundant and the center of their distribution were shifted eastwards to be found along Yumigahama and in Yonago Bay; as the season advanced further, they were found in abundance near Daikon-jima. The data indicated also that spat collection could have been conducted profitably over an area of 4,000 ha. It was indicated by these findings that the ark shell larvae of advanced stages were not abundant in the west of the Itohana—Nyûkô line where the adult of this species were relatively abundant (this part of the Nakanoumi is now utilized as the culture ground of adult ark shell), and that the larvae were carried by tidal currents and accumulated in high densities in the vicinity of Yumigahama and in Yonago Bay where the parent stock was scarce.

(6) Relation Between Vertical Distribution of Larvae and Attachment Layer of Spat

One can not collect spat successfully without knowing the proper depth at which his spat collectors are to be placed. In the summer of 1942 we investigated into how the attachment of ark shell spat varies according to the depth. The investigation took place at St. 4, 1.5 km south of Watari-jima, and at St. 7, halfway between Ito Village and Tsuzuki-jima.

The spat collector employed in this investigation was a series of six oblong screens of hemp palm fibre connected lengthwise. Each screen consisted of a sheet of hemp palm fibres stretched on a wooden frame 3 cm thick and measuring 9 × 90 cm inside.

Two collectors were hung in the sea every week, one being taken up after two weeks and the other after four weeks. When taken up, the collector was cut off at 30cm in-

tervals starting from its lower end, and two 3×3 cm portions showing average spat attachment were cut off from each 30cm section, one for examination and the other for preservation. The number and size of the spat attaching to either side of a 3×3cm piece were examined, and the former was multiplied by 30 to obtain the number of the spat attaching to the 30cm section (Text-fig. 12).

This investigation revealed that in the collector suspended during July 22-August 5, 78% of the spat were concentrated within the 1.5m wide zone corresponding to water depths 4.5–5.7m, while 77% of the attaching spat were concentrated within the 1.5m wide zone corresponding to water depths 3.3–4.5m in the collector suspended during July 31-August 12 (Text-fig. 13).

In 1943 we investigated into why the width and level of the attachment zone vary like this. 30 L of sea water were drawn up with a hand pump from different depths of the water column at 60cm intervals, the number of the ark shell larvae contained in the water was determined, and this was correlated to the specific gravity (σ_{15}) of the sea water. The results indicated that the ark shell larvae of advanced stages mostly occurred in the layer of the specific gravities of about 1.020 within the range of 1.018–1.022, and that the level of such water layer perfectly coincided with the level of the zone of concentrated attachment observed on the spat collector (Text-fig. 14).

If atmospheric pressure is relatively low and it is rainy in the summer, relatively large volume of sea water flows into the Nakanoumi, where a marked discontinuous layer of salinity is developed. In such a year (e.g., 1943) the ark shell larvae are concentrated within a narrow zone, and, consequently, artificial spat collection is very successful. On the contrary, if it is dry in the summer with high atmospheric pressures, discontinuous layer of salinity does not develop and salinity remains low in the Nakanoumi. In such a year (e.g., 1944) artificial spat collection is not very successful (Text-figs. 16〜17).

(7) Artificial Collecting of Spat

In the Nakanoumi the upper layer is occupied by much diluted sea water, and the saline sea water of the bottom pushes upwards against it, creating inbetween a zone with salinities suited to ark shell larvae. The narrower is this zone, the more densely are the larvae concentrated within it.

After the aforementioned investigations were carried out, it became a practice to locate the discontinuous layer of salinity prior to the spat collecting season, to forecast the probable depth of the attachment zone of spat from the vertical distribution of specific gravity, and to set out the spat collectors in conformity with such information. This practice almost eliminated the chances of failure, and made it possible to collect the spat with economic profit. In the succeeding years the relationship between the swimming layer of larvae and the vertical distribution of specific gravity was further investigated, and it was found that, from practical point of view, the width of the attachment zone may be regarded as 75 cm. The spat collector 75 cm in length was therefore designed. The collector of this type, suspended at the depths of 3.6–4.8 m, has ever since been used very successfully.

(8) New Types of Spat Collector

(i) The ark shell larva swims about moving its foot and searching for an attachment

surface. When it arrives at an attachment surface, the presence of which it detects from the changes in current velocity, it crawls over it and attaches itself to a safe spot. The larvae tend to attach collectively to the hollows of a surface, for example, the furrows between the strands of a rope. The reason why they preferably attach to hollows is not clearly understood. Some of the tentative explanations are that attachment may be securer in the hollows than on other parts of a surface, that in a hollow the larvae may be hidden better from enemies, or that food particles may be gathered near the hollows owing to eddy currents.

Taking advantage of the tendency for the spat to gather in hollows, I devised the spat collector of Wara-mabushi type, which were made of rice straw, the easily obtainable material. This collector was put into practical use. It consisted of a two-stranded rice straw rope bearing the "bristles", 6 cm long, of rice straw around it. This bristled rope, reminiscent of a bottle brush without a handle, was prepared by placing pieces of rice straw cut to 12 cm between and across the entire lengths of two fine rice straw ropes when the latter were twisted together into a rope with a rope-making machine. The bristled rope was cut into the pieces 1.8 m long, and each piece was looped. Three loops were tied together to make up a "bunch" and used as a collector. The collectors were stained with coal tar before use, in order to prevent their decay in the sea. However, a large number of collectors coated with wet coal tar proved to be a problem, because they required a large space for drying and were very embarassing to handle.

In order to remove this difficulty, I devised the collector of Shida-mabushi type. It was of the same structure as its predecessor, the Wara-mabushi collector, but was made of ♯ 19 galvanized wires and 12 cm long palm fibres instead of rice straw strands and 12 cm long rice straw. The advantages of this collector are:

(a) It collects twice or thrice as many spat as the Wara-mabushi collector.

(b) It is light and convenient for handling.

(c) It sinks in the water when a small sinker is attached. As the weight of the collector including the sinker is small, supporting material such as piles and rope is much saved.

(d) As it is light, the shipping cost of spat is cut down. As an example, 1,500 collectors ("bunches") attached by 60 million spat were transported from Shimane Prefecture to Okayama Prefecture on a single truck.

(ii) Method of spat collection

Bamboo poles 10 m long are set up 4.5 m apart in the spat collecting area, and a cross piece, which is a bamboo pole about 4 m long and to which ten bunches of Shida-mabushi collectors have been fastened at equal intervals, is suspended horizontally from and between two neighboring poles with ropes.

The collectors are lowered to the depth which has been determined in advance by examining the vertical distribution of the specific gravity of sea water as well as that of the ark shell larvae of advanced stages.

At the beginning of the season, a few collectors are suspended every day for trials; they are taken up on the next day and the number of the attaching spat is examined. Once the attaching spat rapidly increase in number, all the collectors are set out as

quickly as possible; the work is continued day and night, since the peak of attachment lasts for only 3 or 4 days. The collectors with which spat were collected in the summer of 1953 were attached by an average of 97,515 spat per collector. 90% of the spat were below 2 mm in shell length, when they were shipped for the nursery beds in Okayama and Hiroshima Prefectures.

(9) CULTURE OF SEED

(i) If the spat are left in the Nakanoumi as they are attached to the collector, they grow to the shell lengths of 2–3 mm in one month and to 5–10 mm in three months, and then detach themselves from the collector in November. Once they are detached from the collector and fall to the sea bottom, their recovery is not assured, because they may be damaged by red tide or washed away by storms. In order to prevent such loss, the spat are removed to safer places before their detachment from collectors, and raised there under proper protection until they grow to the size usable as the seed. In practice, the collectors carrying the spat 2–3 mm in shell length are shipped to the seed culture grounds in Okayama and Hiroshima Prefectures by rail or truck after September. If the spat are transported by truck, as is usually done in recent years, 60–70% of them fall off from collectors during the transport.

Culture grounds for the ark shell seed are chosen from among such places where the following conditions are fulfilled:

(a) The weather is comparatively calm during the winter, the northwesterly wind (i.e., the monsoon) being not very strong.

(b) The sea floor is either about 30–60 cm above the mean low water level to be exposed during the low waters of spring tide, or about 30–60 cm below mean low water springs.

(c) The bottom is composed of sandy mud and is hard enough to allow a man to walk about without stepping deep into it. The $KMnO_4$ consumption of the bottom sediment is below 20 mg/L.

(d) Good circulation of the water is provided by tidal currents, and the velocity of the flood current exceeds 20 m/min.

(e) The site is not far from a village or town, and is convenient for the caretaker's frequent visits and for the recovery of the spat that have fallen to the sea floor.

(ii) Method of seed culture

On the seed culture ground, which is usually a part of the tidal flat of the level of the low water springs, racks of bamboo poles 60 cm high are set up. The spat collectors attached by spat are hung over the top of the rack. The spat that have fallen off from collectors during transportation are sown on the tidal flat between the racks and nearby at the rate of 15,–30,000 spat per m^2. In one night they attach themselves either to the dead shells and gravels scattering on the tidal flat or to the spat collectors hanging from the racks, exhibiting a tendency of crawling up to a level a little above the sea floor. When a storm is expected, a fence of twigs 60cm high is set up around the culture ground; the fence serves as a wind and wave break.

Transferred to a favorable habitat, the spat grow rapidly and, when they reach a certain size, detach themselves from the substrata one by one to begin their life in the mud. At the beginning, the young ark shell live partially buried in the mud, so that part of their shell remains exposed. Gradually they move downwards, until they are completely buried in the mud.

The spat transferred to a seed culture ground mostly grow to young clams 12–15 mm in shell length by next March or April, when their population density is 5,500–6,600 per m^2 of the sea floor in average, with the maximum of 13,200–16,500 per m^2, and 2,000–3,000 of them fill a liter measure. The young ark shell can be used as the seed when they attain the shell lengths from 10.3 to 12.9 mm. At this size 1,100–1,700 clams fill a liter measure. After the clams reach nearly this size, they are harvested to be used as the seed. The harvesting is done on several suitable occasions; each time the clams are taken up in such a way that their density is evened all over the culture ground. The seed are sown on the culture ground for adult clam at the rate of 100,000 per are. 10–20% of the spat transferred to a seed culture ground in October of the previous year are recovered as the seed. The major part of the loss is ascribable to such predators as sea bass (*Lateolabrax japonicus*), eel, octopus, blue carb, drills, starfishes, etc. Yet another important enemy of the young ark shell is the bivalve *Brachidontes,* which suffocates the clam by secreting a thick mass of byssus over the bottom. Methods to protect young ark shell from these enemies should be found out through the studies in the future.

(iii) Culture of adult ark shell

The seed clam, 10 mm in shell length, that are sown on the culture ground grow to a shell length of 32mm in one year, and is ready to be marketed. 30–40% of the seed survive to attain this size. When the clams grow rapidly on the culture ground, they are harvested within one year after they are transplanted as the seed. The meat of the ark shell is marketed raw, or canned after properly seasoned.

In Kasaoka Bay, Okayama Prefecture, 500,000 kan (1,875 metric tons) of the ark shell (shell included) worth 30 million yen are produced annually by the culture method decribed above. The Kônoshimauchi Fishermen's Co-operative, which is the most active producer in this area, has been producing this clam at the rate of 886 kan (3.25 metric tons) or 55,824 yen from each 10 ares of the culture ground per year.

(10) Problems of Ark Shell Culture in Future

As was decribed in the foregoing sections, the ark shell can be cultured intensively on a commercial scale by using the spat collected in the Nakanoumi. However, many problems must be solved through future studies for the culture of this clam to be practised in many localities along our coasts. Some of these problems follow.

(i) Spat collection: Considerations should be made from both technical and economic point of view, so that the spat may be collected more surely and abundantly. For example, scientific investigations are needed to determine whether spat collecting area can be further extended in the Nakanoumi and to find out the maximum number of the collectors that can be placed profitably in a unit area of spat collecting ground. Since the density of ark shell larvae is higher in the east of the present spat collecting

area than in the present area, it seems advisable to extend spat collecting area in that direction, although the proposed area is farther from Ito Village, the base of the operation, than the presently utilized area.

(ii) Possibility of seed culture in the Nakamoumi: At present, the ark shell spat collected in the Nakanoumi are transported to Okayama and Hiroshima Prefectures and raised there to the size usable as the seed. There are such areas in the Nakanoumi which are free from the harmful effects of the red tide and where the exchange of water is good owing to tidal currents. It may be possible to raise spat to the size of seed in these areas.

(iii) Culture ground for adult ark shell: Commercial culture of the ark shell may be unsuccessful in the waters inhabited by a natural population of this species. Success or failure of the ark shell culture depends not only on the natural conditions of the culture ground but also on the method of transplanting the seed and on the care with which the clams are tended during the culture period. The seed of the ark shell are transplanted for either of the two different purposes: in some cases, they are expected to establish and reproduce themselves in the transplanted area, so that their offspring may be harvested after reaching the marketable size; in other cases, the clams sown as the seed are harvested when they reach the marketable size and their natural breeding is not taken into account. Although ark shell seed have been transplanted to many localities, success has not been reported in many cases. A plan for the transplantation of seed should be based on adequate scientific knowledge concerning the ark shell culture, and not on subjective judgement or mere experience.

(iv) Offshore extension of culture ground: The possibility of extending the culture ground offshore should be investigated. One of the disadvantages of an offshore culture ground, as compared with the present ground, would be that the clam can not be harvested with the inexpensive hand dredge owing to the greater water depths. However, cost of harvesting may be cut down considerably by using the dredge that can be pulled by a boat. It is necessary to study the growth rate and the survival rate of the ark shell in the offshore waters and to estimate how much production of this clam can be expected from a unit area.

(v) Careful tending: Success or failure of the culture of an aquatic animal largely depends on whether the animal is tended with sufficient care or not. It is therefore very important to guide the culturists in such a way that they take more interest in shellfish culture and take better care of their clam. One of the suggested methods is to have each culturist make it a practice to count, every month, the number of the clam necessary to fill a vessel of a fixed capacity. By doing so, he can tell whether his clams are growing or not, since the decrease in the number means the increase in the size of the clam. Moreover, this practice will induce him to take more interest in the clam on the culture ground and to tend them with better care.

(vi) Joint operation: The commercial culture of the ark shell is now operated jointly by the culturists in Shimane Prefecture, who take charge of spat collecting, and those in Okayama, Hiroshima or Saga Prefecture, who take charge of the latter phases of the culture. The proceeds from the sale of the clam of marketable size are divided

between the two parties in the ratio of 5 to 5 or 6 to 4. This type of operation, as long as it is based on the common consent of the concerned parties, can be regarded, at present, as one of the rational systems of managing the commercial culture of the ark shell, either from the viewpoint of the progress of the techniques or from that of the propagation of the culture method.

(11) Principles for Artificial Collecting of Bivalve Spat and Their Application

In order to collect bivalve spat successfully, it is necessary to make clear the morphology and ecology of the planktonic larvae, especially the season of appearance of the full-grown larva and the depth of the attaching layer. Since the attaching behaviors of the full-grown larvae of various bivalves generally have a common feature, the same principles of spat collecting apply successfully to many species. These principles may be summarized as below:

i) The collectors should be arranged to each other in such a way that the passage of water is relatively free between them, so that the larvae, being carried by the water current, may arrive at the collector quickly.

ii) The surface of the collector should be provided with numerous hollows of appropriate size, since the larvae tend to attach to the hollows or the spots sheltered by protrusions on the surface of the collector.

iii) The spat should be raised under adequate protection from predatory enemies until they attain the size usable as the seed. Otherwise, their survival rate is very low.

The items mentioned above are explained further in detail.

(i) The full-grown larvae, which are ready for attachment, swim protruding their foot from the shell. These larvae, as observed in table aquaria, swim with their foot vibrating to the right and left as if searching for proper spots for attachment. The foot, being covered all over with numberless cilia, serves as a kind of sense-organ to perceive the water current. While swimming by its own force with its foot as a rudder and by taking advantage of the water current, the larva finds its way toward the periphery of the water path and finally arrives at the collector. Therefore, the collectors should be arranged in such a way that the circulation of the water is not hindered, in order to collect spat efficinetly.

(ii) The larva, after attaching to the collector, seeks for the best spot for its settlement by crawling about with its foot. If no proper spot can be found, it detaches itself and swims to another attachment surface, where it again searches for a spot suitable for settlement scrupulously. Observation of the oyster spat, soon after its attachment on the collector suspended in the sea for 24 hours, reveals infallibly that it is the concave spots where the larvae attach.

As a whole, it is in the hollow or behind the protrusion that shellfish larvae prefer to attach, and this is also the case in the cypris larva of *Balanus*.

These hollows, when cast in paraffin, measure 0.4–1.8 mm in depth and 1.2–4.0 mm in width. The shell of *Pecten albicans* is provided with numerous depressions, and this may be the reason why the shell of this scallop is preferably used as the collector of

the oyster spat.

Therefore, I devised the "double-net collector", which has an ideal structure full of hollows. It is made of the two or three sheets of nettings of fine mesh, which are placed one over another and sewed together into a sheet. The size of the mesh is about 6 mm as stretched. When one netting is placed over another, the meshes of the former is shifted by half a mesh from those of the latter, so that each knot of one netting falls in the center of a mesh of another netting. With this collector, bivalve spat can be collected in abundance. For example, an average of 2,263 ark shell spat of 2 mm in shell length attached to each 10 × 10 cm area of this collector. It has been shown also that this collector can be used practically for collecting the spat of the pearl oyster, *Pinctada martensii.*

(iii) The spat grow rapidly after attaching to the collector, secreting a hard shell containing calcium carbonate. During the growth, however, they reduce in number owing to their own death and the attack by predators (fishes and crabs). It is most important in the production of bivalve seed to raise the survival rate of the spat by preventing such death and attack. The double-net collector, with its numerous hollows formed by staggered meshes, not only serves as a good collector, but also has a superb advantage in protecting the spat from predatory enemies, and moreover is quite suitable for the culture of juveniles. So that, it may be called an appropriate collector for shellfish culture.

(XIII) 参 考 文 献

AMEMIYA, I. 1928. Journn. Coll. Agric. Imp. Univ. Tokyo, **9** (5).

——— 1928. Jap. Journ. Zool. **2** (1).

愛知水試. 1926～31. 大正15年～昭和6年業務概報.

——— 1927～32. 昭和2～7年業務概報. 1937～42. 昭和13～15年業務報告.

秋田水試. 1922. 大正11年事業報告.

石川水試. 1930. 大正9年業務報告.

千葉水試内湾分場. 1925. 大正15年千葉水試内湾分場事業報告.

関東州水試. 1932. 昭和6～7年事業報告.

COLE, H. A. 1938. Journ. Mar. Biol. Assoc. **22** (2).

CAHN, A. R. 1951. Natural Resources Section, Report No. 146.

藤田四郎・島森・豊福. 1940. 採苗試験報告. 島根県水産会刊.

藤森三郎. 1929. 福岡水試報告.

福岡水試. 1912～18. 大正元～3年事業報告.

——— 1916～21, 25～26. 大正5～10年. 大正14～昭和元年業務功程.

——— 1935～38. 昭和10～13年事業報告.

福岡有明水試. 1959. 昭和32年事業報告.

福井水試. 1930. 昭和5年事業報告, **1** (4).

GALTSOFF, P. S. 1938. Biol. Bull. **74** (3)

——— 1938. Ibid., **75** (2).

林 満 作. 1930. 浅海利用研究会報, No. 11.

林 満 作. 1930. 浅海利用研究会報, No. 13.
——— 1931. 水産, **19** (2～6).
畑中正吉・佐藤隆平・今井丈夫. 1943. 日本水産学会誌, **11** (5～6).
畑久三. 1948. 同誌, **13** (6).
波部忠重. 1951. 日本産貝類概説, 斧足綱 (1).
広島水試. 1926～30. 水試報告, **3～5**.
——— 1953. 適地調査及び技術的研究報告.
——— 1953. 水試だより, No. 32.
——— 1954. 同上, No. 36.
——— 1955. 同上, No. 39.
——— 1956. 昭和30年水試報告, **17** (2).
堀 重 蔵. 1926. 水講試験報告, **22** (1).
北海道水試. 1936～37. 試験報告.
HOPKINS, A. E. 1935. Ecology, **16** (1).
IRVING, A. F. 1921. Bull. U. S. Bur. Fish. **38**.
鴨脚七郎・大島養市. 1938. 養貝読本. 杉山書店刊.
IMAI, T. & HATANAKA, M. 1949. Sci. Rep. Tohoku Univ., 4th Ser. (Biology), **18** (3).
IMAI, T., HATANAKA, M., SATO, R., SAKAI, S., YUKI, R. 1950. Tohoku Jour. Agr. Res., **1** (1).
IMAI, T., HATANAKA, M., SATO, R., SAKAI, S. 1953. Sci. Rep. Res. Inst. Tohoku Univ., D-**4**.
KELLOG, J. 1901. Bull. U. S. Fish Comm., **19**.
児島養貝合資会社. 1903. 伏老藻貝養殖事業方法書.
金丸但馬. 1930. ヴィナス, **1** (6).
黒田徳米. 1930. ヴィナス, **2** (1).
梶川豊明・佐野茂・早栗操. 1953. 日本水産学会誌, **19** (4).
倉茂英次郎. 1941. 水産学会報, **8** (3～4).
吉良哲明. 1946. 貝類総纜.
木下虎一郎. 1949. ホタテ貝の増殖に関する研究. 北方出版社刊.
小林新二郎・結城了伍. 1950. 動物学雑誌, **59** (2～3).
小林新二郎・渡部哲光. 1959. 真珠の研究. 技報堂刊.
勝間弘治. 1952. 瀬戸内海の漁業, **30** (1).
川口四郎・岩田四郎外2氏. 1953. 調査報告.
日下部台次郎・北森良之介. 1949. 日本水産学会誌, **14** (5).
日下部台次郎. 1953. 水産界, No. 819～820.
——— 1954. 水産増殖叢書, No. 6.
神島内漁業協同組合. 1951～54. 人工採苗藻貝成績報告, 第1報～第6報.
——— 1959. 人工採苗藻貝養殖成績一覧表綴.
熊本水試. 1936～37. 昭和11～12年事業報告.
京都水講. 1922. 大正11年事業報告.
鹿児島水産会. 1938. 会報.
LEBOUR, M. V. 1938. Jour. Mar. Biol. Assoc., **23** (1).
MCMILLIN, C. 1924. U. S. Dept. Fish.
村地四郎・古川哲三. 1958. 水産増殖, **6** (2).

村田懋麿. 1936. 鮮満動物通鑑. 目白書院刊.

宮村光武. 1957. 水産増殖, **3** (4).

宮城水試. 1927～30. 昭和2～3年業務功程.

農商務省. 1894. 水産事項特別調査.

長崎水試. 1912. 大正元年～2年事業報告.

NELSON, T. C. 1924. Biol. Bull., **46** (3).

———— 1928. Ibid., **55** (3).

中野宗治・水野復一郎・矢野滝雄. 1929. 中海赤潮調査復命書.

新野弘. 1949. 水産研究会報, No. 2.

ORTON, J. H. 1926. Jour. Mar. Biol. Assoc., **14** (1).

岡山水試. 1918～28. 大正7～昭和2年業務報告.

———— 1928～32. 昭和3～7年業務報告.

———— 1923～33. 大正11年～昭和8年業務報告.

———— 1916～25, 37～38. 大正5～14年, 昭和12～13年業務報告.

———— 1938. 昭和13年業務報告.

大阪府水試. 1959. 昭和32年業務報告.

大分水試. 1932～33. 昭和6～7年事業報告.

小野寺元雄. 1929. 浅海利用研究会報, No. 9.

PRYTHERCH, H. C. 1928. Bull. U. S. Bur. Fish., **44**.

———— 1928. Bull. Bur. Fish., 46, Doc. No. 1054.

RYDER, J. 1889. American Naturalist, **23**.

佐賀水試. 1925. 大正14年業務報告.

———— 1951. 昭和26年業務報告.

佐賀有明海分場. 1952～55. 昭和28～31年業務報告.

佐賀水試有明海出張所. 1946. 佐賀県有明海に於ける藻貝の養殖.

須田皖次・松平康雄. 1931. 海洋時報, **3** (1).

佐藤忠勇. 1948. 水産研究会報, 創刊号.

水産事情調査所. 1951. 岡山県養殖漁村の実態調査.

静岡水試. 1926. 大正15～昭和3年事業報告.

島根水試. 1901～02, 1908～12. 明治34～35年, 41～45年事業報告.

———— 1923～26. 大正12～15年事業報告.

———— 1936. 昭和9年事業報告.

島根水試中海分場. 1948. 試験報告.

———— 1952～53. 昭和26～27年事業報告.

———— 1955. 中海プランクトン図集.

———— 1958. 昭和22～32年事業報告.

STAFFORD, J. 1912. Contr. Canad. Biol. 1906–10.

SPARCK, R. 1928. Rept. Dan. Biol. Stat. **34**.

SCHAEFER, M. B. 1938. Ecology, **19** (4).

SCHUSTER, W. H. 1952. I. P. F. C. Special Publications, No. 1.

徳島水試. 1901～08, 26～27. 明治34～41年, 昭和元～2年事業報告.

鳥取水試. 1950～52. 試験報告, **18～19**.

東京水試. 1931～32. 事業報告, 2～3.

富山水講．1932～34．昭和7～9年事業報告．
豊原義一．1938．海と空，**18**．
田中弥太郎．1954．日本水産学会誌，**19** (12)．
——— 1956．西海区水研有明海研究報告，No. 3．
WEYMOUTH, F. W. H. C. MCMILLIN. & HOLMES, H. B. 1925．Bull. Bur. Fish., **41**．
山口水試．1902～03，17～18．明治35～36年，大正5～6年事業報告．
——— 1917～18．大正6～7年事業報告．
山口内海水試．1959．山口内海水試研究報告，**10** (1)．
結城了伍・小林新二郎．1950．真珠の研究，**1** (2)
山本護太郎．1952．動物学雑誌．**61**．
山城隆文．1959．水産増殖，**6** (3)．
吉田裕．1937．ヴィナス，**7** (1)．
——— 1952．日本海水研創立三周年記念論文集．
——— 1953．下関水講研究報告，**3** (1)．
横田滝雄．1935．養殖会誌，**5** (9～10)．

EXPLANATION OF PLATES 1-3

Plate 1

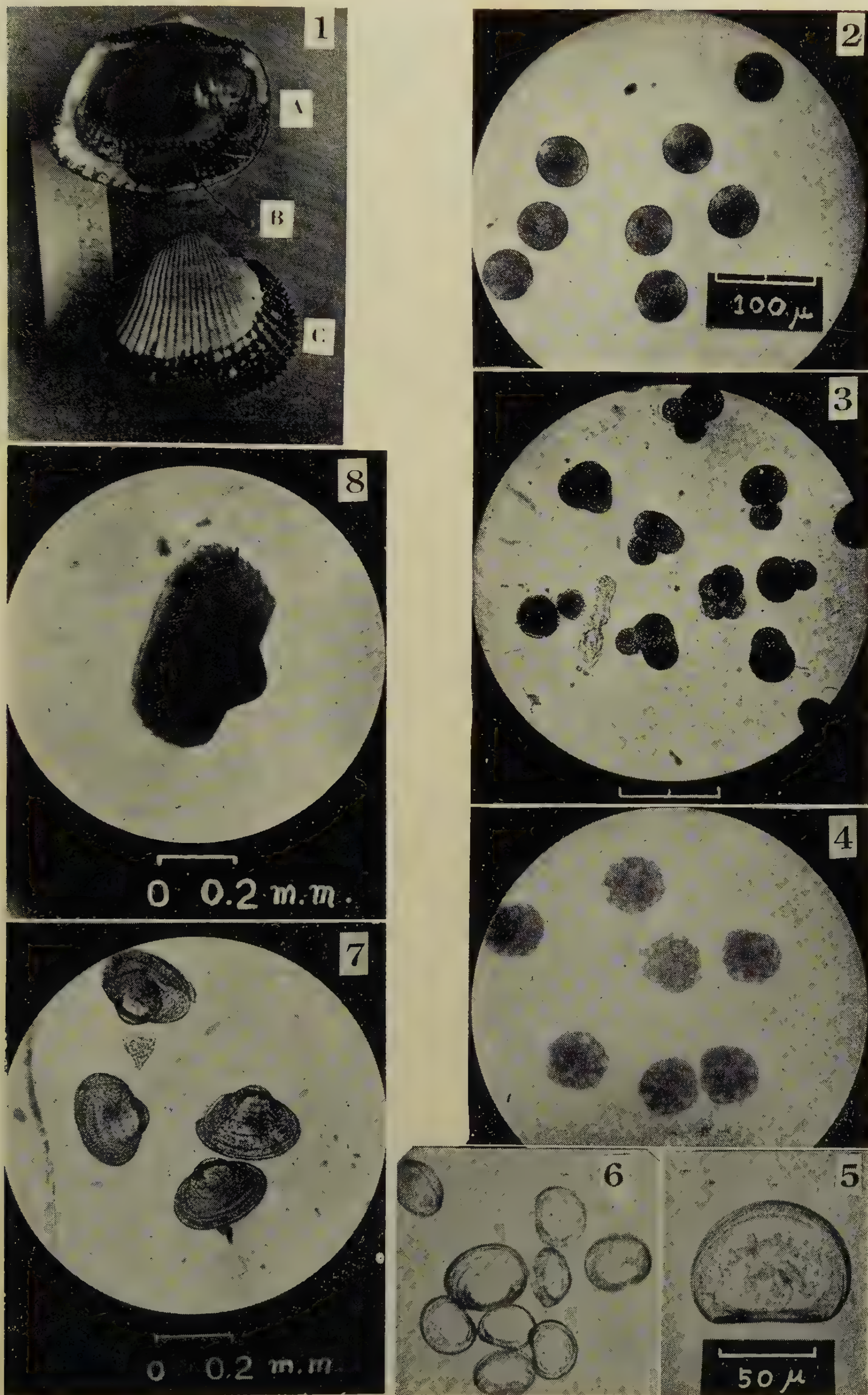
1. Ark shell, *Anadara subcrenata* (LISCHKE).
   A : Right shell valve removed.
   B : Byssus
   C : External appearance.
2. Fertilized eggs : first polar body extruded.
3. 1st and 2nd cleavage.
4. Morula stage.
5. D-form larva.
6. Umbo stage larva.
7. Full-grown stage larvae.
8. A young shell attached to the collector.

Plate 2

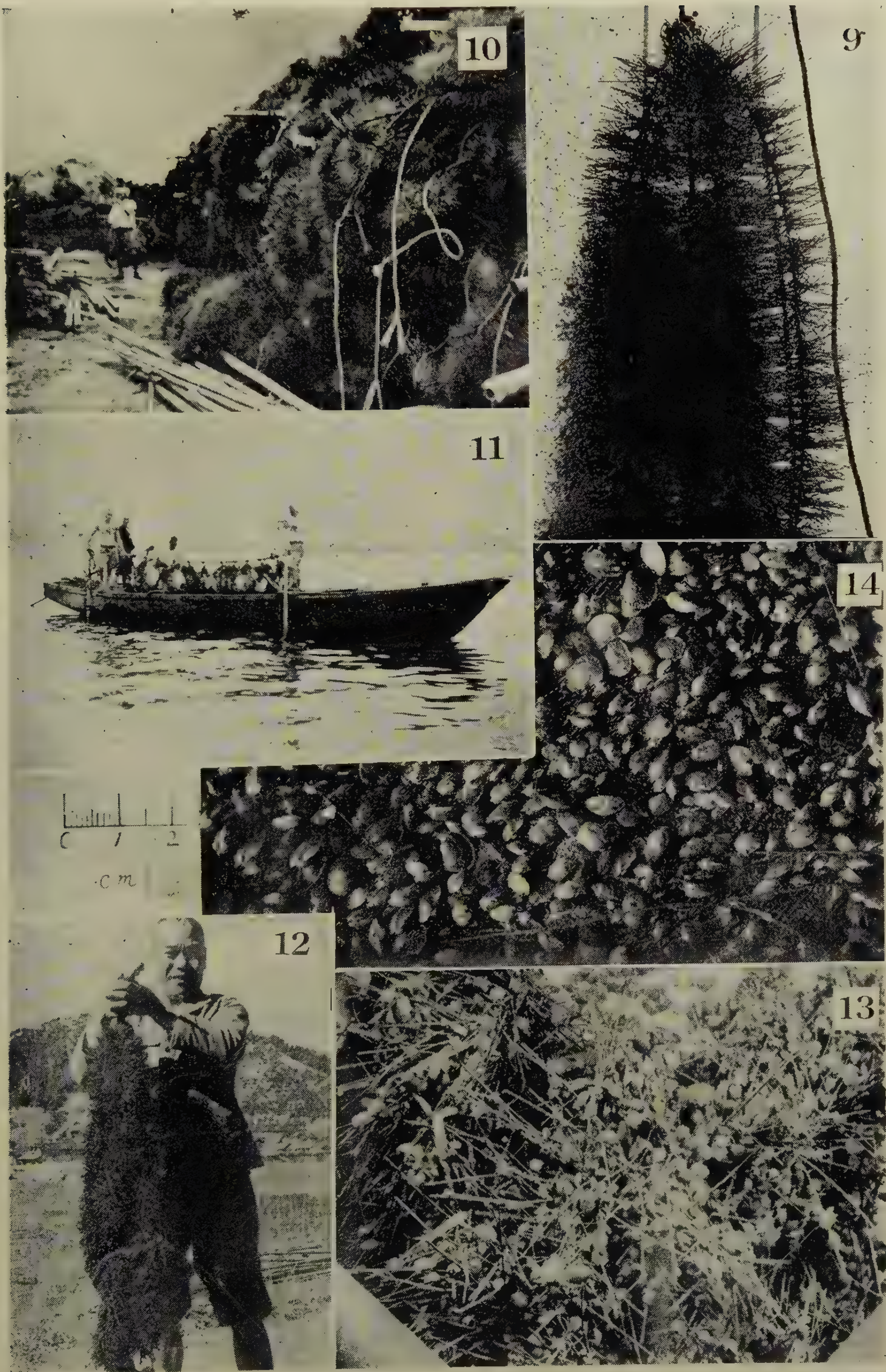
9. A "Shida-mabushi" collector.
10. A heap of "Shida-mabushi" collectors.
11. State of hanging collectors in a boat.
12. Artificial spat attached to "Shida-mabushi" collectors.
13. Same as above.
14. Artificial spat attached to hemp-palm collectors.

Plate 3

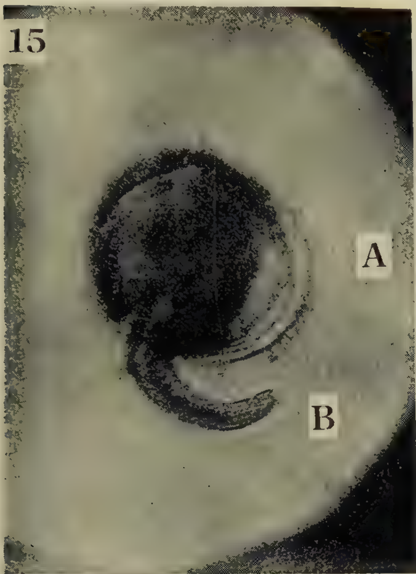
15. Swimming larva of *Brachidontes senhousia*.
    A. Velum ; B. Foot.
16. Full-grown larva of *Brachidontes senhousia*. C. Foot.
17. Attached larva and spat of the oyster (*Ostrea gigas*), 24 hours after setting the collector.
18. Attached oyster spat at the radial groove of the shell of *Pecten albicans*.
19. State of attached *Brachidontes* on the double-net collector.
20. State of attached ark shell spat on the double-net collector.

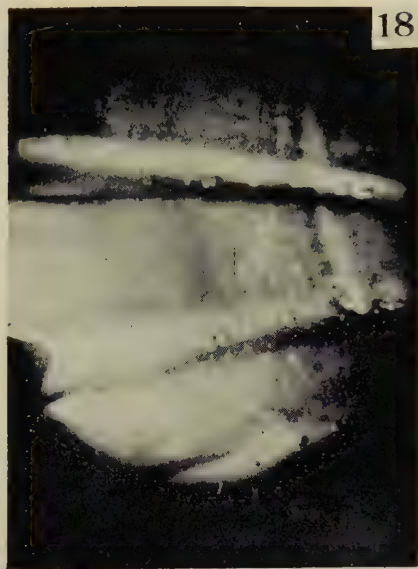


KUSAKABE : Culture of *Anadara subcrenata*

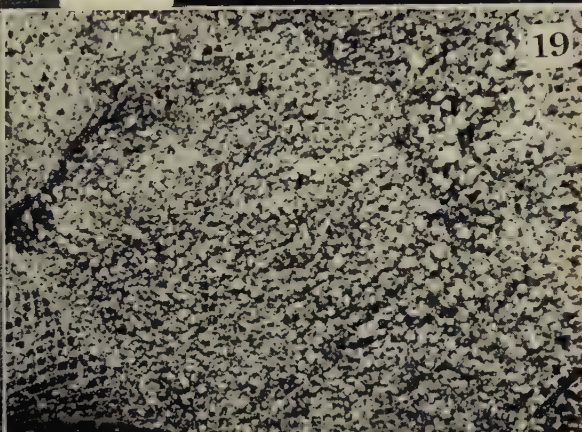


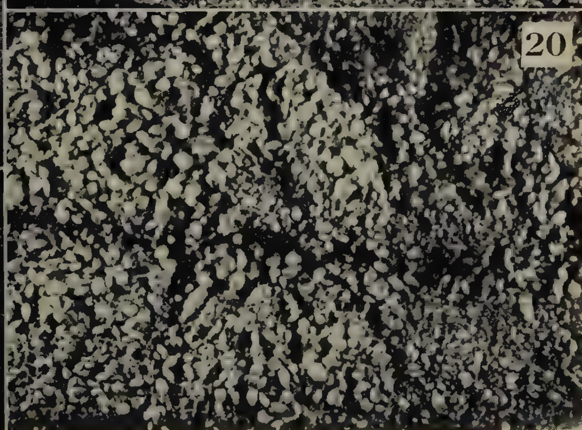
KUSAKABE : Culture of *Anadara subcrenata*

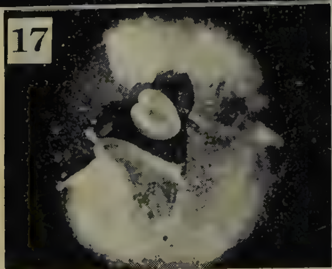












KUSAKABE : Culture of *Anadara subcrenata*

Hemoglobin Content, Erythrocyte Sedimentation Rate and Hematocrit of the Blood in the Young of the Carp (*Cyprinus carpio*)

Shiro MURACHI

Department of Fisheries, Faculty of Fisheries and Animal Husbandry, Hiroshima University, Fukuyama

(Text-figs. 1–3; Tables 1–5)

(I) INTRODUCTION

Several works have been reported on the hemoglobin content (Hb), erythrocyte sedimentation rate (E.S.R.) and hematocrit (Ht) of fish blood. As to the hemoglobin content or the hematocrit of the carp (*Cyprinus carpio*) blood, there are recent studies by SAITO (1954)[1] and BLACK (1955)[2]. It appears, however, that the carp used as the material in all of the experiments hitherto reported were adult or nearly so and that not more than twenty of them were examined as a single lot.

It is very probable that hematological tests will find practical value in fish culture in diagnosing certain physiological abnormities of the fish. This subject has already been reviewed by DAVIS (1956)[3].

The present work has been undertaken to obtain basic data for carrying out hematological tests on fishes. Young carp under one year of age have been selected as the material and the normal values of hemoglobin content, erythrocyte sedimentation rate and hematocrit have been determined. Carp of this age represent the stage called the "seed carp" and are regarded with much importance in carp culture.

Prior to the determination of the aforementioned normal values, the methods of determination were critically studied. And the methods which give satisfactory results were developed.

(II) MATERIALS

All the carp used as the material arose from the eggs laid on a single occasion in June 1957, and were raised under the same suitable conditions.

They were fed on the artificial diet composed of fresh fish meat, ground dry silkworm pupa, wheat middlings and small quantity of silkworm feces. The food was given in such manner that fresh food was always, even in midwinter, present in the rearing tank; so that, the fish presented the appearance of satiety.

Those fish which showed any sign of illness were discarded in the course of the raising.

(III) METHODS AND THEIR CRITICAL STUDIES

Since carp blood has large clotting ability[4] and its erythrocytes are susceptible to hemolysis, and since the carp used as the materials were small in size, the apparatus

and procedures which are usually applied to the examination of human blood were somewhat modified and employed in the present work.

(A) *The region from which the blood was collected*

The blood was drawn from bulbus arteriosus[5)] into the heparinized glass capillary.

In order to expose bulbus arteriosus, a carp was wrapped in wet gauze as soon as it was captured, then the ventral end of right clavicle and coracoid were cut with scissors, and the muscle was cut open toward the heart. By this method, the heart was already exposed with little bleeding in only 20 to 30 seconds after the fish was captured.

(B) *Heparinized glass capillary*

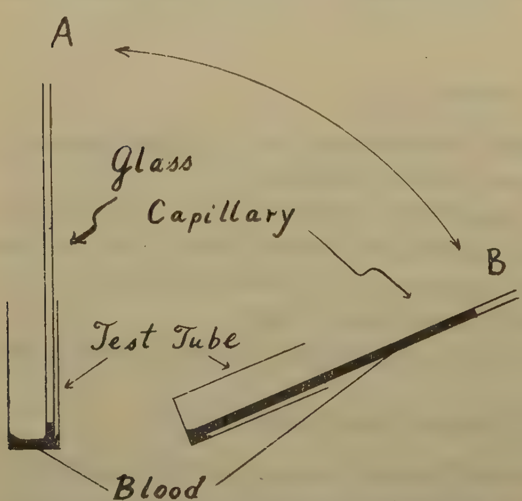
Heparinized glass capillaries were used to draw blood from bulbus arteriosus, since employment of a syringe and a metal needle often caused coagulation or hemolysis in carp blood.

The glass capillaries were 2 mm in diameter and 150 mm in length. They were sharpened at one end just as the injection needles, and were lined with the film of heparin.

When the heparin film with which a capillary was lined dissolved into a capillary-full of blood, the concentration of the heparin was estimated at 0.1–0.2 mg per ml of the blood. This concentration of heparin is regarded as sufficient to lengthen the coagulation time of the blood of man[6)]. Indeed, the heparinized blood sample of the carp did not coagulate for more than three hours at 30°C.

(C) *Drawing the blood, mixing with heparin and homogenization*

When the needle-shaped end of the heparinized glass capillary was inserted in bulbus arteriosus, the blood flowed into the capillary to the accompaniment of the beat of the heart. In three or five seconds the capillary was filled with the blood. Then it was drawn out from the heart and was stood erect in the little test tube, allowing the blood flow onto the bottom of the test tube (Text-fig. 1, A).



Text-fig. 1. The method of mixing and homogenizing carp blood.

Next, both the capillary and the test tube were tipped; this caused the blood to flow back into the capillary by capillary attraction (Text-fig. 1, B). Then the capillary was put back in the state of erectness, the blood being transferred into the test tube again. This mixing operation was repeated ten times; the blood was now completely homogenized and mixed with heparin without disintegrating the erythrocytes.

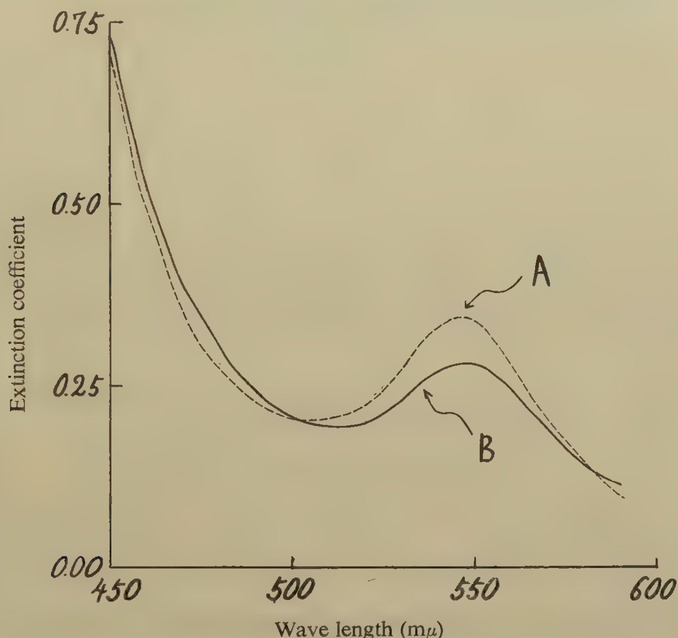
The blood sample thus homogenized was immediately subjected to the determination of hemoglobin content, erythrocyte sedimentation rate and hematocrit.

(D) *Hemoglobin content*

"Sahli's acid hematin method" is probably the simplest and easiest method to determine the hemoglobin content of blood, but many faults of this method have been pointed out in respect of accuracy[7]. Besides, the colour tone of the acid hematin derived from carp blood often fails to accord with that of the colour standard of the hemometer.

For these reasons, the "cyan-hematin method"[7][8] was used in the present study. This method has advantage over other methods in that pure hemin can be used as the colour standard.

The absorption curves of the cyan-hematins derived from hemin and from the hemoglobin of carp blood were determined spectrophotometrically (Text-fig. 2). The two



Text-fig. 2. Absorption curves of the cyan-hematin derived from hemin (A) and from the hemoglobin of carp blood (B).

preparations of cyan-hematin agreed in the wave length of maximum absorption band (545 mμ). So that the hemoglobin content of carp blood could be determined accurately by "cyan-hematin method".

(E) *Erythrocyte sedimentation rate and hematocrit*

"Kato's micro-hemopipette"[9] was used in determining erythrocyte sedimentation rate and hematocrit. Erythrocyte sedimentation rate was expressed in terms of "volume percent" in an hour at 25°C.

After the determination of the erythrocyte sedimentation rate, the hemopipette was centrifuged for 30 minutes at 3,700 r.p.m. in order to read the hematocrit. The centrifuge used in this experiment had a sufficient radius to produce a relative centrifugal force of about 2,260g at 3,700 r.p.m.[10].

(F) *Critical studies*

In order to check whether a blood sample was rendered really homogeneous by the method described in (C), the critical test was carried out as follows.

A blood sample drawn from a carp was divided into four subsamples, and the hemoglobin content and the hematocrit of each subsample were determined. It was found that the hemoglobin contents of the four subsamples were almost of the same level, and that their hematocrits also agreed with each other (Table 1). This test was repeated four times and the homogeneity of each blood sample was confirmed.

Table 1. Hematocrit and hemoglobin values for different portions of a blood sample. (Four measurements were made on a sample by dividing it into subsamples.)

Subsample No.	Hemoglobin Content	Hematocrit
I	13.7 g/dl	45.2%
II	13.7	45.0
III	13.8	45.2
IV	13.7	45.4

Another test was also carried out. Two full capillaries of blood were consecutively drawn from a carp. Then the hemoglobin content and the hematocrit of the blood in each capillary were determined. This test was repeated five times. An example of the results is shown in Table 2.

Table 2. Hematocrit and hemoglobin values for the two blood samples consecutively taken from the same fish.

	Hemoglobin Content	Hematocrit
1st Sample	14.1 g/dl	51.7%
2nd Sample	14.1	51.5

It is indicated by Table 2 that the character of the blood of a carp can be adequately represented by a single blood sample.

(IV) RESULTS AND DISCUSSION

In order to determine the normal values of various blood properties, blood samples were taken in late winter (February, 1958) and in late spring (May, 1958) from the carp reared under the aforementioned suitable conditions. The numbers of the fish sampled were 65 and 61, respectively. In addition, blood samples were taken in May, 1958 from the 46 carp which had been starved for 7 weeks.

The results of the analysis of the bloods of these three groups are shown in Tables 3, 4 and 5.

In February 1958 the water temperature of the rearing tank ranged from 1.6 to 7.8°C, and the carp, being eight-month-old, were inactive and showed poor appetite. On the contrary, in May 1958, the water temperature ranged from 16.0 to 22.3°C, and the carp, eleven-month-old, moved actively and had strong appetite.

Table 3. Normal blood values for the young of the carp in late winter (Measurements were made on 65 fish in February, 1958).

	Body Weight g.	E.S.R. %	Ht. %	Hb. g/dl	M. C. H. C. %
Maximum	36.4	4.6	65.7	16.0	31.0
Minimum	21.6	0.3	15.8	3.3	13.3
Mean	26.82	1.66	37.45	9.97	26.37
Fiducial limits at 95% probability	±0.80	±0.20	±1.94	±0.52	±1.02

Table 4. Normal blood values for the young of the carp in late spring (Measurements were made on 61 fish in May, 1958.)

	Body Weight g.	E. S. R. %	Ht. %	Hb. g/dl	M. C. H. C. %
Maximum	93.4	1.3	74.7	16.9	26.9
Minimum	21.7	0.1	26.4	5.5	16.1
Mean	40.38	0.46	50.08	11.03	22.17
Fiducial limits at 95% probability	±2.74	±0.06	±2.06	±0.48	±0.52

Table 5. Blood values for the starved young of the carp in late spring (Measurements were made on 46 fish in May, 1958.)

	Body Weight g.	E. S. R. %	Ht. %	Hb. g/dl	M. C. H. C. %
Maximum	37.5	7.3	52.3	12.4	27.8
Minimum	19.9	0.9	15.0	2.9	12.7
Mean	26.96	3.89	32.99	7.11	21.35
Fiducial limits at 95% probability	±1.01	±0.40	±2.13	±0.20	±0.94

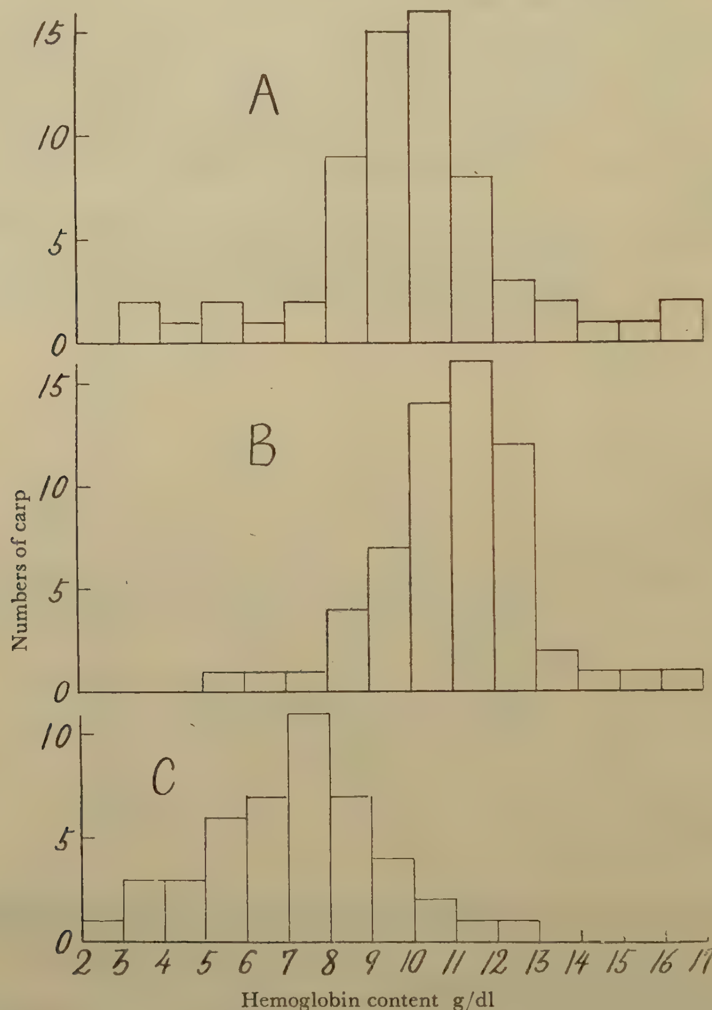
As is seen in Tables 3 and 4, the blood taken in late winter gave lower Hb and Ht but higher E.S.R. and M.C.H.C. (Mean Corpuscular Hemoglobin Concentration) as compared with the blood taken in late spring.

The mean hemoglobin content of 9.97 grams per cent for the blood taken in late winter is close to 9.4 grams per cent reported by BLACK (1940)[11)], and the mean content of 11.03 grams per cent for the sample taken in late spring is also close to 11.2 grams per cent reported by BLACK (1955)[2)].

The blood taken in late spring from the carp starved for seven weeks showed higher E.S.R. and lower Ht, Hb and M.C.H.C. compared with the bloods of the other two groups (Table 5). The fall of Hb and the rise of E.S.R. were especially remarkable.

After completion of the experiment in May 1958, 10 carp remained in the rearing tank. These were reared under suitable conditions until February, 1959, when their blood was analyzed. Although the result is not printed here because the samples were not numerous, the means of E.S.R., Ht, Hb and M.C.H.C. were nearly equal to those of the blood taken in February, 1958.

From these experiments it was concluded that such characteristics of the blood as Hb, E.S.R., Ht and M.C.H.C. vary both with season and with nutritive conditions.



Text-fig. 3. Frequency distributions of hemoglobin contents in the blood of the carp.
(A) Blood samples taken in late winter.
(B) Blood samples taken in late spring.
(C) Blood samples taken in late spring from starved fish.

Text-fig. 3 shows the histogram of the frequency distribution of Hb in each group of the blood samples. In each group the range of the hemoglobin content, from the minimum to the maximum, was considerably wide, but the distribution was approximately normal.

(V) SUMMARY

(1) The methods for determining hemoglobin content (Hb), erythrocyte sedimen-

tation rate (E.S.R.) and hematocrit (Ht) of the blood of young carp were critically tested and the proper methods were settled.

(2) Normal values of Hb, E.S.R., Ht and M.C.H.C. of the blood of young carp were determined in winter and in spring.

(3) The blood of the carp gave lower Hb and Ht, but higher E.S.R. and M.C.H.C. in winter than in spring.

(4) The blood of the carp starved for seven weeks gave abnormal values on various blood characteristics.

(VI) REFERENCES

(1) SAITO, K. 1954. On the morphological property of blood-corpuscles. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., **19**: 1134–1138. (Japanese)

(2) BLACK, Edgar C. 1955. Blood levels of hemoglobin and lactic acid in some freshwater fishes following exercise. J. Fish. Res. Bd. Canada, **12**: 917–929.

(3) DAVIS, H. S. 1956. Culture and disease of game fishes. Univ. Calif. Press, Los Angeles. (pp. 283–285)

(4) SAITO, K. 1954. On the elements of blood coagulation and coagulation time. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., **19**: 1139–1143. (Japanese)

(5) KAWAMOTO, N. Y. 1956. Fish physiology. Ishizaki-Shoten, Tokyo. (pp. 14–15) (Japanese)

(6) MIALE, J. B. 1958. Laboratory medicine-hematology. C. V. Mosby Co., St. Louis. (p. 627)

(7) YOSHIKAWA, H. 1955. Rin-sho Ikagaku I. Kyodo-Isho-Shuppan, Tokyo. (pp. 246-254) (Japanese)

(8) KAWACHI, T. 1955. On the hemoglobinometry by photoelectric photometry. Medical Science, **7**: 10-32. (Japanese)

(9) MIYOSHI, K. 1949. Ketsueki Kensa-ho. Gakujutsu-Shoin, Tokyo. (pp. 7-9) (Japanese)

(10) MIALE, J. B. 1958. Laboratory medicine-hematology. C. V. Mosby Co., St. Louis. (pp. 217–223)

(11) BLACK, Edgar C. 1940. The transport of oxygen by the blood of freshwater fish. Biol. Bull., **79**: 215-229.

ノリ生育に対する環境，特に水流の影響に関する研究

松　本　文　夫
広島大学水畜産学部水産学科

Studies on the Effect of Environmental Factors on the Growth of 'Nori' (*Porphyra tenera* KJELLM.), with Special Reference to the Water Current

Fumio MATSUMOTO

Department of Fisheries, Faculty of Fisheries and Animal Husbandry, Hiroshima University, Fukuyama

(Text-figs. 1～15 ; Tables 1～40)

緒　言

天然の状態において，ノリ（*Porphyra tenera* KJELLM.）はその生育環境である海水の性状・気象・海況・地勢など外界の支配を受けて生存を続ける．即ちノリの生育に影響を及ぼす環境要因として，水温・海水比重・溶在栄養分・水流・地盤・光などその生育する水界によって制約される種々の要素をあげることができるが，ノリが干満潮線間に生息する植物であるため，空気中への露出・波浪による動揺・気温の変化など水界外からの影響も無視できない．

ノリを養殖する場合にはこれら環境がノリの生育に適合するような水域をえらばねばならないが，養殖技術の進歩即ち養殖方法並びに装置を考案し適当な操作をほどこすことによって，ある程度人為的に不良環境に対処することができる．例えば古くからノリの着生材として使われているソダ類・竹簇のような建簇では，好適な漁場を選定し其処に簇を設置すれ

ばその後の技術的管理の余地は甚だ少ないが，近来急激に普及しつつある水平簇では露出乃至浮動を最適条件に設定することができ，またその後も気象・海況の変化に応じて適宜管理することが容易となった．更に技術が進めばこの種の装置では栄養塩類の不足を補うため施肥によって水質を変換し，光を抑制するため遮蔽又は沈潜することなども不可能ではないと考えられる．

このようにノリの生育環境を養殖上からみると，人為的に調整し得る管理的要素と場所によって強く制約される漁場的要素とに分けて考えられ，養殖方法乃至養殖装置の改善とともに管理的要素の部分が増大し，より安定した養殖事業が可能となるものである．しかし現在の養殖技術の段階では気温・水温・風雨・比重・水質・水流・地盤など未だなお漁場的要素の強い面が多い．これら漁場的環境要素のうち，気温・水温・風雨など気象に関連したものはノリの生育可能な地方を限定するものであって，比較的年変化が大きく，技術的にはそれぞれの事象に応じ臨機の処置を講じ得るに過ぎず，本質的にこれを制御することは困難である．これに対し比重・水質・水流・地盤のように海況乃至地勢に関連したものは養殖に適する水域を規制するもので，もし施肥・水流の調整などが技術的に容易となれば，これらは管理的な面が強くなり，漁場的制約をまぬがれることになる．しかし実際には経済的な理由もあって，これら環境の種々の制約のもとに強く天然に依存してノリの養殖が行われているのが現状である．従ってノリの養殖を合理的に行うためにはその生育を制約している天然の環境を解析し，各要素についてノリの生理からみて生育に最も好適な条件を明らかにし，その条件に適合する漁場をえらび，またそれに合致する管理をほどこす必要がある．このような考え方からする研究は昭和初年より朝鮮総督府水産試験場において富士川[21), 22), 23), 24)]，によってとりあげられ，著者らが従事して行われてきた．即ち抽出したそれぞれの環境要素について培養実験その他の室内実験により生育に及ぼす影響を明らかにし，これをもとにして現場試験を行い，その実証によって得た知見を用いて養殖技術の改善乃至漁場の開発をはかるものである．

戦後著者らは同様の趣旨によって瀬戸内海沿岸にノリ漁場の開発をはかったが，その際内海の漁場を制約する環境要素と朝鮮におけるものとの間にはおのづから相違のあることを認め，これについての究明を試みた．即ち従来から開発されている内海の養殖場と朝鮮の養殖場を比較するに，最も顕著な相違は朝鮮では一般に外洋性の濃い海水の洗う場所に存在するに対し（洛東江下流漁場のように川裾が必ずしも不適ではないが）内海では川裾もしくは河川の流入する内湾に限られて存在する点である．上にも述べたように主として漁場を制約する環境条件として気温・水温・水質・比重・水流・地盤などをあげることができるが，内海の養殖場のように川裾乃至内湾にあるために現出する環境の性状としては比重の低下・水温の降下・栄養塩類の補給・水流の加速・干潟地の発達などが考えられる．これらのうちいずれの要素がノリの生育にとって最も重要であり，内海の漁場を規制しているものであるかを検討した結果，水温・水流・栄養塩類が互に関連しながら関与しており，いずれも同様に重要であるとの結論に達した．かって朝鮮においては漁場を規制する条件として“ノリの最適生育場は外洋性の濃い海水の洗う場所であって，比重の低い処は却って不適当であり，海水中の窒素成分は外洋の海水中に含有される微量の窒素で適当且つ充分で，窒素の欠乏は海水の流れの停滞する場合にのみ起る現象に過ぎないから適当な強さの水流さえあれば考慮の要がない”とし,[23)] 水温についても殆んど言及の要を認めなかったもので，内海における上記

所見とはやや趣を異にしている．思うに内海においてはノリの生育にとって比較的高水温で養殖しているものであって，これがひいては代謝作用の増進をきたし，栄養塩類の不足を生じ，その補給のために水流の必要性が大きく加わるものであろうと考えられる．

これら相互の関連についての研究，特に水流については実際の養殖場におけるノリ生育状態の観察によってその重要であることは認められていながら,[1),2),3)] 未だその適度・意義などについて深く研究されたものが見あたらないので，これを究明することを中心として漁場構成要因としてのノリ生育環境要素全般について論述する．

(I) 瀬戸内海と朝鮮のノリ漁場の比較

瀬戸内海と朝鮮沿岸のノリ養殖場の環境条件に如何なる相違があるかを明らかにするため，著者らが行った調査及び諸種の報告をもとにして両者の海況の比較を行ってみる．

まず瀬戸内海の海況の概要を知るため“瀬戸内海水産連絡調査要報”[51)] に発表されている沿岸各府県水産試験場が分担して行った海洋調査の数値を次のように整理してみた．この調査は 3, 6, 9, 12月に定期連絡調査を行っているもので，その調査定点のうちから計24地点をえらびその水温・塩分（比重に換算）及び硝酸態窒素について3ヶ年の平均値を Table 1 に示した．定点としては内海を大阪湾・播磨灘・備後灘（及び燧灘）・安芸灘（広島湾を含む）・伊予灘・周防灘の6海域に大別し，各海域ごとに著しく接岸していなくてまた近接していない調査定点それぞれ4ヶ所ずつをえらんだ．なおこれに外洋からの影響をみる意味で紀伊水道と豊後水道の調査定点7ヶ所を加えた．（それらの地点は Text-fig. 1 に示す）．



Text-fig. 1. Location of observation stations in the Seto Inland Sea.

次にこれらと比較するための朝鮮沿海の数値として，対馬海峡において4ヶ年乃至19ヶ年にわたって行った横断観測[35)] の平均値を Table 2-1 にかかげた．（観測定点は Text-fig. 2 に示す）．いずれの観測値にも欠測の月があり，また観測日の特殊な海況（降雨などによる）も考慮されていないから単に平均値をとることはやや危険であるが，概略の傾向を知るにはさしつかえないものとした．なお朝鮮においては漁場を規制する条件として外洋性の濃い海水

Table 1. Oceanographical data of the Seto Inland Sea (mean of Dec., 1953～Sept., 1956).

Area	Obs. St.	Depth (m)	Water temperature (°C)				Specific gravity (ρ_{15})				NO_3-N (γ/L)			
			Mar.	Jun.	Sept.	Dec.	Mar.	Jun.	Sept.	Dec.	Mar.	Jun.	Sept.	Dec.
Kii-suidô	TK4	0	11.8	19.6	25.8	18.7	1.024	1.024	1.024	1.025	6	1	×	15
		25	12.5	20.2	25.6	19.0	1.025	1.025	1.025	1.025	—	tr	×	15
	WK5	0	12.5	19.0	25.5	17.8	1.025	1.024	1.021	1.025	4	7	41	22
		25	12.8	18.0	24.4	18.9	1.025	1.024	1.024	1.025	12	12	41	29
	TK9	0	9.7	18.5	25.4	16.4	1.024	1.023	1.022	1.024	3	4	×	22
		25	9.9	18.0	25.3	17.2	1.024	1.024	1.024	1.024	—	16	×	11
	WK4	0	10.9	19.2	25.6	17.5	1.024	1.024	1.022	1.025	2	6	35	28
		25	11.3	18.9	25.1	18.1	1.024	1.025	1.024	1.025	7	4	18	24
Ôsaka-wan	HG1	0	10.3	19.1	25.5	17.1	1.024	1.024	1.024	1.024	4	7	14	68
		10	10.4	18.1	25.0	17.2	1.024	1.024	1.024	1.024	6	19	16	72
	HG2	0	10.4	19.5	22.6	16.3	1.024	1.024	1.023	1.024	2	7	5	57
		10	10.0	18.5	25.0	16.4	1.024	1.024	1.024	1.024	2	7	6	76
	OS7	0	9.7	21.0	27.0	15.7	1.022	1.023	1.022	1.024	6	×	tr	—
		10	9.1	17.9	25.0	16.2	1.023	1.024	1.023	1.023	2	×	4	—
	OS5	0	9.2	21.1	27.5	15.0	1.022	1.021	1.022	1.023	2	×	1	—
		5	9.0	19.1	24.7	17.5	1.023	1.024	1.023	1.024	1	×	2	—
Harima-nada	HG13	0	8.4	19.7	27.6	15.1	1.024	1.023	1.022	1.023	3	4	—	38
		10	7.9	16.4	25.7	15.3	1.024	1.023	1.023	1.023	1	2	4	36
	HG14	0	8.4	21.3	26.4	17.3	1.024	1.023	1.023	1.023	—	2	1	56
		10	8.1	17.5	25.5	17.2	1.024	1.023	1.023	1.023	tr	14	6	30
	KG9	0	9.4	18.9	25.9	15.0	1.024	1.024	1.023	1.023	3	tr	25	29
		10	9.1	17.8	25.7	15.0	1.024	1.023	1.023	1.023	35	tr	31	70
	KG4	0	9.2	18.6	26.2	15.5	1.024	1.024	1.023	1.023	23	—	5	41
		10	8.8	17.5	25.9	15.2	1.024	1.024	1.023	1.023	12	—	20	49
Bingo-nada & Hiuchi-nada	OK1	0	9.4	19.8	26.9	15.0	1.024	1.023	1.023	1.024	—	—	1	6
		10	9.2	17.7	26.2	15.2	1.024	1.024	1.023	1.023	4	8	1	17
	OK5	0	9.5	20.4	27.0	16.2	1.024	1.023	1.023	1.024	2	7	—	12
		10	9.5	17.7	26.2	16.4	1.024	1.024	1.023	1.023	2	4	2	18
	OK6	0	10.6	19.9	26.9	16.0	1.024	1.024	1.023	1.024	3	4	4	1
		10	9.6	18.1	26.1	15.8	1.024	1.024	1.023	1.024	4	3	11	6
	OK7	0	10.2	20.1	26.9	16.1	1.024	1.023	1.023	1.024	3	3	—	25
		10	9.8	18.3	26.2	16.1	1.024	1.024	1.023	1.024	3	—	7	11

Area	Obs. St.	Depth (m)	Water temp. (°C)				Sp. gr. (ρ_{15})				NO_3-N (γ/L)			
			Mar.	Jun.	Sept.	Dec.	Mar.	Jun.	Sept.	Dec.	Mar.	Jun.	Sept.	Dec.
Aki-nada & Hiroshima-wan	HS6	0	10.6	16.8	24.8	16.1	1.023	1.024	1.024	1.023	5	71	23	15
		10	10.7	16.3	24.1	17.1	1.024	1.024	1.024	1.023	7	9	5	17
	HS5	0	10.9	17.5	25.4	16.7	1.024	1.024	1.024	1.023	8	3	tr	18
		10	10.8	16.3	24.2	17.1	1.024	1.024	1.024	1.023	20	19	1	21
	YG11	0	10.3	18.3	25.7	16.6	1.024	1.024	1.023	1.024	14	3	1	7
		10	10.5	16.3	24.7	16.7	1.024	1.024	1.024	1.024	12	5	3	6
	HS2	0	10.1	19.4	26.4	16.1	1.024	1.022	1.020	1.023	4	35	14	16
		10	10.5	16.4	24.4	16.4	1.024	1.024	1.023	1.023	—	6	12	5

Iyo-nada	EH12	0	11.9	17.3	23.0	18.4	1.024	1.024	1.024	1.024	—	—	tr	—
		10	11.6	15.9	22.5	18.8	1.024	1.024	1.024	1.024	—	—	tr	—
	YG5	0	11.4	17.7	24.7	18.5	1.025	1.025	1.024	1.024	4	2	6	7
		10	11.4	16.8	24.4	18.9	1.025	1.025	1.024	1.024	5	2	4	7
	YG9	0	11.3	18.2	25.2	18.8	1.025	1.024	1.024	1.024	10	1	3	14
		10	11.4	16.4	24.9	18.9	1.025	1.024	1.024	1.024	15	8	4	25
	EH10	0	12.3	17.1	23.8	18.4	1.025	1.024	1.023	1.024	—	×	tr	—
		25	12.6	16.9	22.7	18.9	1.025	1.024	1.02[illegible]	1.024	—	×	tr	—
Suô-nada	YG4	0	10.2	17.7	25.9	17.1	1.025	1.024	1.024	1.024	1	3	2	7
		10	9.8	17.2	24.6	17.3	1.024	1.024	1.024	1.024	1	2	3	9
	YG2	0	9.4	18.0	25.8	17.2	1.025	1.024	1.022	1.024	2	2	4	8
		10	9.3	17.3	24.6	17.3	1.025	1.023	1.023	1.024	5	3	2	67
	FK3	0	9.8	23.0	24.7	13.9	1.024	1.022	1.023	1.024	5	1	3	1
		15	9.6	20.0	24.6	13.8	1.024	1.023	1.023	1.024	6	3	2	1
	FK6	0	10.4	24.0	25.6	13.0	1.024	1.022	1.023	1.024	3	1	2	1
		5	10.2	21.1	24.5	13.0	1.024	1.023	1.023	1.024	1	1	2	1
Bungo-suidô	EH2	0	12.3	17.1	24.4	18.4	1.025	1.024	1.023	1.024	—	×	tr	4
		25	12.5	17.0	22.6	18.7	1.025	1.025	1.024	1.024	—	×	tr	—
	EH4	0	12.8	17.5	23.6	19.2	1.025	1.025	1.024	1.025	—	×	tr	6
		25	12.9	17.4	22.3	19.3	1.025	1.025	1.024	1.025	—	×	tr	4
	EH5	0	13.9	18.3	25.4	19.3	1.025	1.025	1.025	1.025	—	×	tr	—
		25	13.6	18.8	22.8	19.5	1.025	1.025	1.025	1.025	—	×	tr	—

の洗う場所であればよいとされていると緒言にも述べたが，この場合の外洋性の海水とは朝鮮のノリ養殖場が半島の南乃至南西部のいわゆる多島海の地方を中心として開けているので，主として対馬海峡を通る海水の影響を受けるものと考えて一応この数値を採用した．ただし硝酸態窒素含有量に関しては更に沿岸の観測値をもTable 2-2 としてかかげた．これに対し内海では深く内陸に入っているので外洋から直接に海水が影響するとは考えられない．よって上のように大別した各海域ごとに海況を展望すれば内海全般の海況の概要を知ることができると考え，このような方法で整理して比較の対象とした．

Table 1 を通覧してまず目につくことは瀬戸内海では水温・海水比重・硝酸態窒素含量のいずれもが各海域ごとにかなり著しい相違を示していることである．傾向としては紀伊水道並びに豊後水道から奥に入れば入るほど内陸の影響が強く現われ，また各海域の地勢，特に流入する河川の影響を受けてそれぞれ特長的な様相を呈している．これは内陸海である以上当然のことではあるが，その現われ方は予期以上に明瞭である．従って内海沿岸を洗う外洋水という通念で内海各海域の海水を一様に律することはできない．例えば水温をとりあげてみても，一連の豊後水道・伊予灘・周防灘について比較するに，黒潮の影響を大きく受けると思われる EH4•EH5 から伊予灘の EH10•YG 9 を通って周防灘に入るにしたがって内陸の影響が強くなり，気温が水温より低い 3 月 •12月 には奥に向うにしたがって低くなり，気温が水温より高い 9 月には反対に次第に高くなっている．更に奥の安芸灘・広島湾に入ると太平洋の影響は直接には殆んど感じられないような様相となる．硝酸態窒素についてみても，冬季12月頃に多いとの一般的傾向をあらわしているが，6 月もしくは 9 月によく最多量を示す地域もあって，これはその頃のその地方の比重が低い点からみて陸水の影響が大きいものとみなされる．これに反し対馬海峡の観測値についてみるに (Table 2-1) 水温は沿



Text-fig. 2. Location of observation stations in Korea.

Table 2-1. Sectional observation data of Tsushima Strait.

I. Water temperature (°C)

(Fusan ～ Tsushima, mean of 1922～1940)

Obs. St.	Depth (m)	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
I	0	13.6	12.7	12.0	12.7	13.7	18.0	20.4	24.3	24.1	21.3	17.8	16.0
	25	13.3	12.3	11.7	12.4	13.3	14.8	16.6	18.5	19.5	19.5	17.0	15.2
II	0	14.4	13.1	12.9	13.4	14.8	18.0	21.4	25.8	24.8	22.0	19.1	16.4
	25	14.4	13.0	12.5	13.1	14.1	15.8	17.0	19.5	22.0	21.7	18.5	16.0
III	0	14.8	13.7	13.3	13.8	15.1	18.6	22.4	26.3	25.2	22.4	19.6	17.0
	25	14.8	13.7	13.1	13.5	14.6	15.8	17.5	20.8	23.2	22.1	19.1	16.8
IV	0	15.4	14.3	13.9	14.4	16.0	19.2	23.0	26.3	25.5	22.9	20.6	17.8
	25	15.4	14.3	13.7	14.1	15.3	17.4	18.3	21.8	24.4	22.6	20.3	17.6
V	0	15.5	14.3	13.9	14.5	16.1	19.4	23.4	26.1	26.0	23.5	20.7	17.8
	25	15.6	14.4	13.8	14.2	15.6	17.6	19.7	22.4	24.4	22.6	20.6	17.8
VI	0	15.6	14.2	13.8	14.4	16.1	19.2	22.5	25.7	25.9	23.0	20.5	17.7
	25	15.6	14.2	13.6	14.1	15.7	17.9	19.9	22.5	23.8	22.4	20.3	17.6

(Ulsaki～Kawashiri-misaki, mean of 1932～1940)

Obs.St.	Depth (m)	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
1	0	14.2	12.1	11.4	12.1	13.4	15.6	18.6	21.5	23.1	20.3	17.6	15.5
	25	13.9	12.2	11.6	11.8	12.3	13.7	12.3	16.0	18.5	18.2	15.9	15.2
2	0	14.9	13.1	12.4	13.3	14.9	17.2	20.8	24.1	23.7	21.5	18.4	16.5
	25	15.1	13.2	12.4	13.1	14.3	15.0	14.9	17.9	20.7	20.3	18.6	16.7
3	0	15.5	13.2	13.1	13.7	15.6	18.0	21.7	25.9	24.5	22.4	20.6	17.7
	25	15.6	13.2	13.2	13.7	15.0	16.9	17.5	19.7	23.6	22.6	20.3	17.9
4	0	15.4	13.2	13.0	13.5	15.2	18.1	22.5	26.1	24.8	22.7	20.7	17.8
	25	15.5	13.2	13.0	13.4	14.8	17.5	18.4	22.2	23.8	23.0	20.6	18.1
5	0	15.5	13.3	12.8	13.5	15.3	18.5	22.6	26.6	24.9	22.7	20.7	17.5
	25	15.6	13.3	12.8	13.4	15.0	17.1	20.2	22.5	23.5	22.8	20.7	17.7
6	0	15.6	13.9	12.9	13.5	15.6	18.9	22.6	26.6	25.4	22.6	20.4	17.7
	25	15.7	13.9	12.9	13.4	15.2	17.2	19.7	22.6	24.4	22.7	20.6	17.9
7	0	15.8	13.9	13.2	13.8	15.7	18.6	22.9	26.6	25.4	22.7	20.6	18.2
	25	15.8	14.0	13.3	13.6	15.2	17.0	19.8	21.8	24.5	22.8	20.6	18.5
8	0	16.0	14.3	13.4	13.9	15.9	19.1	22.9	26.8	25.6	23.0	21.1	18.3
	25	16.0	14.3	13.6	13.8	15.4	18.1	19.7	22.5	24.3	22.9	20.8	18.5
9	0	16.0	14.1	13.5	14.1	16.2	19.4	23.5	27.0	25.7	23.2	21.1	18.4
	25	16.0	14.0	13.5	14.0	15.8	18.8	20.7	23.9	25.1	23.1	21.1	18.7
10	0	15.7	13.9	13.4	13.9	16.2	19.5	23.6	26.9	25.7	22.9	20.8	18.5
	25	15.8	14.0	13.4	13.8	15.9	18.8	21.6	25.0	25.3	23.0	20.9	18.7
11	0	15.4	13.5	13.0	13.4	15.7	19.2	22.7	26.4	25.7	22.7	20.5	18.1
	25	15.5	13.4	13.0	13.3	15.3	18.6	21.5	24.4	24.9	22.5	20.6	18.3

II. NO_3-N (γ/L)

(Ulsaki ～ Kawashiri-misaki, mean of 1932～1935)

Obs. St.	Depth (m)	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
1	0	88	54	(31)	(33)	29	4	7	7	4	4	1	83
	25	60	56	38	21	42	8	40	1	30	11	33	85
2	0	57	54	29	21	3	0	0	3	9	5	2	34
	25	(56)	48	40	25	25	4	(73)	10	10	7	7	48
3	0	48	59	37	26	3	4	6	3	4	3	2	20
	25	55	(59)	52	32	47	9	6	(127)	4	(11)	2	23
4	0	41	55	(36)	30	8	4	15	0	3	2	3	22
	25	(57)	50	50	28	13	4	10	5	5	5	10	24
5	0	41	51	49	31	4	4	2	0	5	2	3	18
	25	58	60	51	30	4	15	5	19	8	3	4	19
6	0	55	(46)	50	32	4	0	9	1	4	3	1	20
	25	54	44	57	34	8	12	9	26	7	5	2	18
7	0	(49)	47	49	48	4	4	3	3	5	1	1	20
	25	51	58	47	47	6	18	10	8	3	6	2	25
8	0	45	58	37	28	3	0	4	0	5	3	11	20
	25	47	60	42	40	6	12	10	10	7	3	8	38
9	0	38	48	42	39	4	0	0	1	7	4	8	23
	25	41	46	43	38	8	12	9	20	8	7	11	24
10	0	35	49	39	36	4	12	8	1	2	2	7	1
	25	39	41	39	32	5	15	8	15	7	3	10	8
11	0	20	30	34	16	3	0	6	3	4	3	9	17
	25	22	34	27	11	5	12	6	5	6	6	11	12

Table 2-2. NO_3-N contents of sea water at western and southern coast of Korea. (γ/L)

	1st Observation (3∼7, Sept.)		2nd Observation (6∼8, Nov.)		3rd Observation (10∼14, Nov.)	
	Obs. St.	NO_3-N	Obs. St.	NO_3-N	Obs. St.	NO_3-N
Western Coast	A 0	22 90	B 0	17 25	C 1	32 33
	A 1	15 15	B 1	26 20	C 2	32 32
	A 2	14 14	B 2	15 26	C 3	32 34
	A 3	6 15	B 3	23 35	C 4	53 61
	A 4	9 15	B 4	5 26	C 5	63 73
	A 5	6 9	B 5	2 3	C 6	71 80
	A 6	8 15	B 6	24 25	C 7	77 80
	A 7	11 51	B 7	20 21		
	A 8	2 14	B 8	15 23		
	A 9	0 6	B 9	22 23		
	A 10	0 16	B 10	46 46		
			B 11	63 59		
Southern Coast	A 11	7 5			C 8	80 82
	A 12	6 16			C 9	80 82
	A 13	2 15			C 10	67 68
	A 14	15 16			C 11	68 66
	A 15	8 8			C 12	1 59
	A 16	4 9			C 13	29 23
	A 17	0 15			C 14	11 38
	A 18	3 7			C 15	91 117
	A 19	15 16			C 16	0 0
					C 17	18 36
					C 18	57 108

Note : { Surface / Below 10m

岸に近づくにしたがって陸地の影響を受け夏冬によって僅かずつ高低を示し，硝酸態窒素は冬多く夏少く表層から底層に向って順次減少する典型的な外洋性の変化を示している．このような外洋水が多島海の島嶼部をぬって其処に朝鮮のノリ養殖場が育くまれ，たとい島島の間が入りこんで地形的には複雑な態様を呈していてもその間を一様に外洋水が洗っているものと思われる．勿論沿岸に所在する養殖場がその周辺の地勢の影響を受け水流・水温などに多少の変化のあることは当然であるが，陸水の流入する水域ほどはげしいものではないと考えられる．

このように内海と朝鮮のノリ漁場の環境要素にはその第一義的な海水の由来の相違による本質的な差異が認められるが，それではこの海水の如何なる性状が内海のノリ漁場を川裾に局限している原因であろうか．これを明らかにするため内海と朝鮮のノリ養殖場の海水の性状及びそれらに接して流れる外海水の性状を比較してみる．

上にもふれたように内海の海況について考察する場合には局地的にみる必要があるので，古くから沿岸にノリ養殖場が開けている備後灘・広島湾・周防灘について上記"調査要報"の月例観測の測定値を同じ要領で整理し，それぞれ Table 3, 4, 5 にまとめた．これら海水の性状にそのままではノリの生育に適せず川裾に至ってはじめて好適となる要因が介在しているはずであるが，各表を通覧するに各海域によってそれぞれ特長的な様相が見出される．即ちノリ生育盛期（12月～3月）を主として比較するに，備後灘では (Table 3) 水温の低下は多くは 9～10°C の間にとどまり，最低のもので 8.3°C を示し，硝酸態窒素は月例観測を欠くため微細な変化をたどることはできないが，この表にあらわれている限りでは概して稀薄ではないかと思われる．例外的にただ一回 OK 9 で 12 月に 49 γ/L を示しているが，この観測地点は陸岸に近く最低水温を示したものもこの定点であり，陸水の影響を受けるものと思われる．広島湾では (Table 4) 硝酸態窒素の量は比較的多く，他の内海海域に比べ特異的にみえるが，その量の多い時期は冬季よりは却って夏季であり比重の低下している時期で明らかに河川により供給されたものと思われる．このように備後灘の場合と同じく，硝酸態窒素の給源は陸水にあおぐもので，外洋水で海底に生産され冬多夏少の型を示す場合（先にかかげた対馬海峡の観測値ではこの型となっている）とは本質的に相違する．水温は備後灘に比べやや高く，冬季 10°C 以下は二回に過ぎず，しかも陸岸に近い観測地点の表層水温であって，一般には他海域よりかなり高いものとみられる．更に周防灘においても (Table 5) 陸水の影響の消長によって硝酸態窒素の量が増減し，また陸岸に近接した地点では水温の低下がみとめられる．

以上要するにそれぞれの海域によって特長的にみえる海水の性状も，すべて内陸の影響の多少に帰し得るものと思われる．而して冬季ノリ生育盛期の水温は海域によって多少の差があり，陸地の影響の大きいとみられる特定の地点では低い場合もあるが，概観すると 8～10°C の程度であり，しかもこのような低温を示す期間は至って短かく，多くは 10°C 前後とみなしてよい．この概数は宇田が 1918～1930年の間に内海臨海各府県水産試験場で行った定期横断観測の結果をまとめ各月別の最高最低水温を示したもの[20] (Table 6) においてもみられるところで，備讃瀬戸・備後灘・周防灘では水温の最も低い 2 月 3 月の時期に最低値 6.7～8.4°C・最高値 11.9～9.7°C と記録されている．この最低値 6.7°C は上記の"調査要報"を整理して述べた数値よりはかなり低いが，この観測には陸岸近くの地点も含まれており，表面水温のみの観測であるから特に低い数値を示す場合もあるので，一般にはこれ

Table 3. Oceanographical data of Bingo-nada (meam of Oct., 1953～Sept., 1956).

Month	Depth (m)	St. OK 9				St. OK 3				St. OK 8				St. OK 2			
		Air temp. (°C)	Water temp. (°C)	Sp. gr. (ρ_{15})	NO_3-N (γ/L)	A. T.	W. T.	Sp. gr.	NO_3-N	A. T.	W. T.	Sp. gr.	NO_3-N	A. T.	W. T.	Sp. gr.	NO_3-N
Jan.	0	12.3	10.5	1.024	×	10.7	10.7	1.024	×	10.9	10.3	1.024	×	11.4	11.4	1.024	×
	5or10		10.6	1.024	×		10.7	1.024	×		10.5	1.024	×		11.5	1.024	×
Feb.	0	11.4	8.3	1.024	×	10.3	8.9	1.024	×	11.0	9.2	1.024	×	12.1	9.2	1.024	×
	5or10		8.5	1.024	×		8.8	1.024	×		9.1	1.024	×		9.1	1.024	×
Mar.	0	10.9	8.7	1.024	2	11.4	8.9	1.024	tr	12.8	9.3	1.023	1	12.4	9.0	1.024	8
	5or10		8.6	1.024	1		8.7	1.024	3		9.0	1.023	4		8.9	1.024	—
Apr.	0	15.9	12.3	1.023	×	17.0	12.7	1.023	×	18.3	12.2	1.024	×	17.5	12.3	1.024	×
	5or10		12.4	1.023	×		12.3	1.023	×		12.1	1.024	×		12.1	1.024	×
May	0	19.1	16.2	1.023	×	20.1	16.2	1.023	×	20.9	16.6	1.022	×	20.2	16.5	1.023	×
	5or10		16.1	1.023	×		16.0	1.023	×		16.3	1.023	×		15.4	1.024	×
Jun.	0	22.1	18.4	1.023	tr	23.2	18.0	1.023	7	23.2	18.7	1.023	3	23.2	18.7	1.023	—
	5or10		18.4	1.023	12		17.9	1.023	6		18.0	1.023	2		17.7	1.024	—
Jul.	0	25.0	22.2	1.022	×	24.9	22.5	1.021	×	24.6	22.6	1.018	×	25.0	22.9	1.022	×
	5or10		22.4	1.022	×		21.7	1.022	×		21.8	1.022	×		22.0	1.022	×
Aug.	0	28.1	25.6	1.023	×	27.0	25.5	1.023	×	29.3	26.5	1.022	×	28.0	25.7	1.023	×
	5or10		25.3	1.023	×		25.2	1.023	×		25.5	1.023	×		24.3	1.023	×
Sept.	0	26.8	26.8	1.024	1	27.5	26.5	1.023	—	27.1	26.3	1.023	2	27.5	26.5	1.023	—
	5or10		26.6	1.023	2		26.6	1.023	2		26.2	1.023	—		26.1	1.023	1
Oct.	0	24.4	24.8	1.023	×	24.3	24.6	1.023	×	24.5	24.3	1.022	×	24.4	24.6	1.023	×
	5or10		24.7	1.023	×		24.7	1.023	×		24.6	1.023	×		24.7	1.023	×
Nov.	0	19.1	19.1	1.023	×	18.8	19.2	1.023	×	18.2	18.9	1.023	×	18.8	19.3	1.023	×
	5or10		19.2	1.023	×		19.3	1.023	×		18.8	1.023	×		19.4	1.023	×
Dec.	0	14.2	14.7	1.023	8	15.0	15.0	1.023	—	13.1	14.7	1.023	2	15.0	15.2	1.023	1
	5or10		14.6	1.024	49		14.9	1.023	8		14.8	1.023	4		15.3	1.023	1

Table 4. Oceanographical data of Hiroshima-wan (mean of Oct., 1953～Sept., 1956).

Month	Depth (m)	St. HS 21 A.T. (°C)	St. HS 21 W.T. (°C)	St. HS 21 Sp. gr. (ρ_{15})	St. HS 21 NO_3-N (γ/L)	St. HS 22 A.T.	St. HS 22 W.T.	St. HS 22 Sp. gr.	St. HS 22 NO_3-N	St. HS 23 A.T.	St. HS 23 W.T.	St. HS 23 Sp. gr.	St. HS 23 NO_3-N	St. HS 24 A.T.	St. HS 24 W.T.	St. HS 24 Sp. gr.	St. HS 24 NO_3-N
Jan.	0	6.5	10.2	1.023	—	7.7	10.7	1.023	—	19.5	11.6	1.024	3	9.1	12.1	1.024	—
	5or10		10.3	1.023	—		11.1	1.024	—		11.9	1.024	—		12.4	1.024	—
Feb.	0	10.0	8.7	1.023	24	12.1	9.5	1.023	—	13.2	10.6	1.024	—	12.4	10.8	1.024	—
	10		10.0	1.024	6		10.2	1.023	3		10.3	1.024	3		10.5	1.024	6
Mar.	0	11.6	10.2	1.022	28	12.3	10.3	1.023	6	12.4	10.5	1.024	—	12.3	10.8	1.024	36
	10		10.4	1.024	55		10.2	1.024	7		10.3	1.024	3		10.3	1.024	39
Apr.	0	15.4	15.0	1.021	—	16.4	15.3	1.020	13	16.4	14.4	1.021	32	16.4	14.6	1.024	3
	10		14.1	1.024	45		13.9	1.023	47		13.8	1.024	20		14.1	1.024	21
May	0	19.8	18.4	1.020	43	20.7	18.2	1.021	13	22.1	16.9	1.022	7	21.7	18.1	1.023	tr
	10		16.3	1.023	28		15.2	1.023	tr		14.9	1.024	2		15.6	1.024	—
Jun.	0	23.0	21.6	1.018	5	23.1	21.9	1.020	—	26.0	21.2	1.022	—	25.0	21.3	1.023	10
	10		18.6	1.023	3		17.3	1.024	32		17.3	1.024	2		18.2	1.024	4
Jul.	0	26.7	24.5	1.016	683	28.0	25.2	1.013	13	27.0	25.2	1.015	34	25.8	23.6	1.021	97
	10		20.3	1.023	—		19.8	1.023	46		19.9	1.023	1		20.4	1.023	244
Aug.	0	29.6	27.9	1.020	45	30.2	27.2	1.021	16	30.6	25.9	1.022	20	29.5	27.2	1.023	44
	10		24.5	1.022	9		22.9	1.023	17		22.8	1.023	25		24.3	1.023	5
Sept.	0	23.5	20.7	1.009	149	27.7	21.6	1.012	137	24.0	23.8	1.013	94	26.0	24.1	1.021	19
	10		24.3	1.021	—		24.0	1.022	2		23.7	1.023	4		24.2	1.022	21
Oct.	0	18.5	21.2	1.022	80	23.3	21.1	1.023	46	22.0	22.3	1.022	4	22.2	22.6	1.024	2
	10		22.0	1.022	20		22.1	1.023	49		21.2	1.024	9		22.5	1.024	2
Nov.	0	15.5	17.5	1.023	17	16.5	18.6	1.023	8	17.0	18.7	1.023	5	16.3	18.9	1.023	2
	10		17.7	1.023	2		18.7	1.024	6		18.8	1.023	—		19.0	1.024	4
Dec.	0	8.6	12.8	1.022	14	9.4	14.1	1.023	6	9.0	14.9	1.023	—	11.1	14.8	1.024	—
	10		14.1	1.023	3		15.9	1.023	4		15.9	1.024	1		15.7	1.024	2

Table 5. Oceanographical data of Suô-nada (mean of Oct., 1953~Sept., 1956).

Month	Depth (m)	St. YG 1 A. T. (°C)	St. YG 1 W. T. (°C)	St. YG 1 Sp. gr. (ρ_{15})	St. YG 1 NO_3-N (γ/L)	St. YG 2 A. T.	St. YG 2 W. T.	St. YG 2 Sp. gr.	St. YG 2 NO_3-N	St. YG 3 A. T.	St. YG 3 W. T.	St. YG 3 Sp. gr.	St. YG 3 NO_3-N	St YG 4 A. T.	St YG 4 W. T.	St YG 4 Sp. gr.	St YG 4 NO_3-N
Jan.	0	11.0	11.9	1.023	31	10.0	12.7	1.024	9	10.2	12.0	1.024	6	10.6	12.8	1.025	27
	10		12.3	1.024	11		13.0	1.024	4		12.0	1.024	9		13.0	1.025	7
Feb.	0	7.7	9.4	1.024	21	8.2	9.6	1.024	13	9.6	9.5	1.024	8	10.0	10.1	1.024	8
	10		9.3	1.024	10		9.5	1.024	9		9.5	1.024	10		10.2	1.024	7
Mar.	0	7.8	8.6	1.024	6	8.8	8.7	1.024	2	10.7	8.7	1.024	2	10.3	9.6	1.025	tr
	10		8.5	1.024	2		8.6	1.024	7		8.6	1.024	tr		9.4	1.025	tr
Apr.	0	13.6	12.4	1.024	8	14.2	12.2	1.024	8	14.8	12.3	1.024	9	15.4	12.3	1.024	9
	10		11.9	1.024	7		11.7	1.024	8		12.0	1.024	8		11.8	1.024	8
May	0	17.1	14.9	1.023	9	18.1	15.1	1.023	19	17.3	15.3	1.024	5	17.8	14.8	1.024	3
	10		14.4	1.024	3		13.8	1.024	28		13.8	1.024	6		13.9	1.024	5
Jun.	0	19.0	18.5	1.023	9	19.0	18.4	1.024	3	19.2	18.1	1.024	3	19.1	17.9	1.024	5
	10		17.5	1.024	4		18.0	1.023	4		17.6	1.024	3		17.5	1.024	2
Jul.	0	25.6	23.6	1.021	7	25.6	23.6	1.022	4	25.4	24.2	1.022	5	27.6	24.1	1.022	1
	10		19.2	1.024	1		20.5	1.024	1		20.8	1.024	4		19.8	1.024	1
Aug.	0	26.3	25.4	1.022	6	28.1	26.3	1.022	3	26.4	25.9	1.022	tr	26.7	25.7	1.022	3
	10		24.2	1.022	5		21.6	1.023	1		23.7	1.023	tr		24.0	1.022	—
Sept.	0	26.0	26.0	1.023	3	26.2	25.6	1.023	2	27.6	25.6	1.023	1	27.1	25.6	1.023	2
	10		25.9	1.023	3		24.8	1.023	1		24.2	1.023	2		24.9	1.023	2
Oct.	0	22.3	23.0	1.024	14	22.5	23.2	1.023	tr	23.2	23.3	1.024	8	22.6	23.2	1.024	4
	10		22.9	1.024	9		23.2	1.024	7		23.1	1.024	2		23.0	1.024	8
Nov.	0	15.5	20.1	1.024	—	16.4	20.9	1.024	3	17.8	20.8	1.024	7	18.0	20.6	1.024	tr
	10		20.1	1.024	—		20.8	1.024	2		20.8	1.024	—		20.8	1.024	1
Dec.	0	11.2	16.3	1.024	67	12.7	17.0	1.024	10	13.1	17.3	1.024	63	13.8	17.2	1.024	10
	10		16.5	1.024	11		17.1	1.024	99		17.8	1.024	7		17.5	1.024	9

Month	Depth (m)	St. FK 2				St. FK 4				St. FK 6				St. FK 7			
		A. T.	W. T.	Sp. gr.	NO_3-N	A. T.	W. T.	Sp. gr.	NO_3-N	A. T.	W. T.	Sp. gr.	NO_3-N	A. T.	W. T.	Sp. gr.	NO_3-N
Jan.	0	4.9	10.1	1.024	tr	5.5	10.0	1.024	10	5.5	8.9	1.024	tr	5.4	8.9	1.024	×
	10		10.3	1.024	tr		9.7	1.024	8		8.9	1.024	8		8.5	1.024	×
Feb.	0	9.4	8.2	1.024	tr	10.5	8.2	1.024	tr	10.1	8.7	1.024	tr	10.3	8.1	1.024	×
	10		7.4	1.024	tr		8.0	1.024	tr		7.9	1.025	tr		7.6	1.024	×
Mar.	0	12.2	10.1	1.024	tr	12.2	10.1	1.024	1	12.2	10.7	1.024	2	11.4	11.2	1.024	1
	10		9.8	1.025	2		9.7	1.024	3		10.2	1.024	1		10.3	1.024	2
Apr.	0	12.7	14.0	1.022	16	11.9	13.9	1.024	3	13.1	14.4	1.024	3	13.9	14.5	1.023	×
	10		13.2	1.024	3		13.8	1.024	2		14.1	1.023	1		14.0	1.023	×
May	0	19.2	18.2	1.023	10	19.9	18.6	1.023	6	19.3	19.6	1.021	3	21.0	19.7	1.023	×
	10		16.8	1.023	6		17.0	1.023	2		16.3	1.023	2		16.6	1.023	×
Jun.	0	22.7	22.1	1.022	5	22.5	22.2	1.023	3	23.2	23.9	1.022	1	23.5	23.5	1.022	3
	10		20.5	1.023	5		20.5	1.023	1		21.8	1.023	2		22.4	1.023	15
Jul.	0	25.8	24.9	1.021	6	26.4	25.1	1.021	2	27.6	26.1	1.021	2	25.4	26.6	1.021	×
	10		22.8	1.022	1		23.1	1.022	2		23.2	1.022	2		23.6	1.022	×
Aug.	0	28.8	28.9	1.022	5	29.0	26.9	1.022	2	28.9	28.5	1.022	2	29.8	28.5	1.022	×
	10		26.1	1.022	tr		24.7	1.022	2		24.6	1.023	2		27.4	1.022	×
Sept.	0	26.5	25.9	1.022	tr	26.2	25.8	1.023	tr	26.5	26.6	1.023	tr	25.3	26.2	1.023	tr
	10		25.1	1.024	1		25.0	1.023	tr		25.5	1.022	1		25.5	1.023	5
Oct.	0	18.4	20.4	1.023	4	20.4	21.0	1.023	4	19.9	20.7	1.023	4	19.3	20.6	1.023	×
	10		20.5	1.023	3		20.7	1.023	4		20.3	1.023	4		20.3	1.023	×
Nov.	0	15.3	17.3	1.023	8	15.9	17.2	1.024	7	16.7	16.7	1.023	4	17.1	17.1	1.023	×
	10		17.4	1.023	8		17.2	1.023	7		16.1	1.024	3		16.6	1.023	×
Dec.	0	11.7	12.4	1.024	2	13.4	13.5	1.024	tr	12.5	13.3	1.024	2	12.9	12.9	1.024	tr
	10		12.4	1.024	1		12.9	1.023	2		13.2	1.024	1		12.3	1.024	tr

Table 6. Maximum and minimum of water temperature in winter in the Seto Inland Sea (1918～1930, monthly). (°C)

		Dec.	Jan.	Feb.	Mar.
Southern part of Kii-suidô	max.	—	18.2	17.6	17.9
	min.	—	10.6	11.5	10.8
Northern part of Kii-suidô	max.	16.7	13.6	16.5	16.5
	min.	13.9	10.5	7.8	7.5
Osaka-wan	max.	16.4	10.4	8.1	8.7
	min.	9.2	6.8	6.2	7.3
Harima-nada	max.	16.2	10.6	8.2	8.7
	min.	11.2	8.4	6.4	6.0
Bisan-seto	max.	16.5	11.5	9.7	10.1
	min.	12.4	7.6	6.9	6.9
Hiuchi-nada & Bingo-nada	max.	16.5	12.5	10.5	11.9
	min.	12.5	9.4	7.5	7.7
Suô-nada	max.	17.2	11.8	11.0	10.7
	min.	12.2	10.4	8.4	6.7
Bungo-suidô	max.	20.7	16.7	15.5	17.2
	min.	17.5	15.0	12.8	12.7

らの海域を流れる海水の冬期の水温は 10°C 前後とみなしてよいものと思われる．ノリ生育にとっての好適水温は後に検討するように（(IV)節に記述）成葉では 7～8°C であって，12～3°C あたりを高限界としているから，上に示す内海の外海水の冬季の水温はノリの正常な生育にとって限界点に近いものと言えよう．しかも後に指摘するように比較的高い水温でノリを生育させる場合には豊富な栄養分特に窒素源を必要とし，もし不足する場合にはノリ本来の黒紫色の色調を失うものであるが，上に述べたように内海では硝酸態窒素のような栄養分が冬季に却って減少している傾向にあるからこれら成分の不足も懸念される．要するに内海ではノリ生育にとって比較的高温で栄養分の不足した外海水が沿岸を洗っているものとみなしてよい．

次にそれでは現在川渇に開かれている養殖場においては水温乃至栄養塩類が如何なる状況を呈しているか．言いかえれば上に述べたような外海水の欠点が如何に排除されているかをみるため各海域沿岸の養殖場の海況を対比してみる．即ち備後灘（水島灘を含む）沿岸に所在する玉島（高梁川下流）及び福山（芦田川下流，箕島地先），広島湾において広島（太田川分流己斐川下流，草津地先），周防灘において豊後高田（寄藻川下流）をえらびそれぞれの水温・比重・硝酸態窒素などの変動を示せば Table 7, 8, 9, 10 の通りである（養殖場位地については Text-fig. 1 参照）．これらの表と上記備後灘・広島湾・周防灘の海水の性状を比較するに，冬季ノリ生育期には水温において 1～3°C の低下，硝酸態窒素において著量の増加をみとめることができる．しかしこれらの数値を細かに点検すると海域の場合と同様それぞれ特長的な変動が見出されるもので，例えば広島では水温の低下は 1°C 内外で僅少であるが硝酸態窒素の増量が著るしく，これに反し福山・豊後高田では硝酸態窒素の増量は広島ほど大きくはないが水温の低下が顕著であって ノリ生育の 好適水温 7～8°C を示している．即ち養殖場が川渇にあることによって前者は主として栄養分の補給が行われ，後者は同

Table 7. Oceanographical data of Tamashima Nori cultural ground (mean of Oct., 1953～Mar., 1956).

Month	Decade	A. T. (°C)	W. T. (°C)	Sp. gr. (ρ_{15})
Oct.	first	20.2	22.8	1.019
	second	18.5	20.4	1.020
	last	17.9	19.4	1.021
Nov.	first	14.4	17.2	1.021
	second	12.0	14.7	1.020
	last	12.8	13.9	1.020
Dec.	first	10.7	12.4	1.020
	seocnd	8.5	10.8	1.021
	last	8.5	9.3	1.021
Jan.	first	5.9	8.6	1.020
	second	5.8	7.5	1.020
	last	5.0	7.3	1.021
Feb.	first	6.2	7.4	1.021
	second	5.6	7.9	1.022
	last	7.6	8.5	1.021
Mar.	first	6.7	9.1	1.021
	second	9.1	10.3	1.021
	last	11.1	12.0	1.021

Table 8. Oceanographical data of Fukuyama Nori cultural ground (1955～1956)

Month	Decade	A. T. (°C)	W. T. (°C)	Sp. gr. (ρ_{15})	NO_3-N(γ/L)	NH_3-N (γ/L)
Oct.	first	21.8	23.9			
	second	18.0	20.4			
	last	16.7	18.9			
Nov.	first	16.3	18.4			
	second	13.3	16.3			
	last	10.7	14.1			
Dec.	first	9.0	13.5	H 1.022 L 1.008		
	secoud	9.7	10.6	H 1.022 L 1.006		
	last	8.4	9.9	H 1.023 L 1.006		
Jan.	first	7.4	8.8	H 1.022 L 1.004	39 78	33
	second	7.3	7.8	H 1.021 L 1.008	74 147	23
	last	5.9	7.1	H 1.022 L 1.005	29 57	27
Feb.	first	5.5	5.8	H 1.022 L 1.003	48 97	28
	second	6.8	7.7	H 1.021 L 1.003	81 162	30
	last	12.7	10.1	H 1.022 L 1.007	46 83	21
Mar.	first	17.3	12.1	H 1.022 L 1.005		
	second	19.7	13.2	H 1.022 L 1.007		
	last	22.5	14.4			

(H-High tide , L-Low tide)

Table 9-1. Oceanographical data of Hiroshima Nori cultural ground.
(mean of 9 yrs.)

Month	Decade	W. T. (°C)	Sp.gr. (ρ_{15})
Oct.	first	23.0	1.023
	second	21.8	1.023
	last	20.2	1.023
Nov.	first	18.5	1.023
	second	17.4	1.023
	last	15.7	1.023
Dec.	first	14.3	1.023
	second	13.3	1.023
	last	12.0	1.023
Jan.	first	10.8	1.023
	second	10.4	1.023
	last	9.7	1.023
Feb.	first	9.2	1.023
	second	9.2	1.023
	last	9.5	1.022
Mar.	first	9.8	1.023
	second	10.5	1.023
	last	11.5	1.022

Table 9-2. NO_3-N contents of sea water at Hiroshima Nori cultural ground. (γ/L)
(mean of 1954～1956)

Month	Surface	Below 5m
Jan.	—	—
Feb.	24	6
Mar.	28	55
Apr.	—	89
May	60	35
Jun.	41	20
Jul.	475	54
Aug.	55	12
Sept.	115	8
Oct.	81	19
Nov.	17	2
Dec.	14	3

Table 10. Oceanographical data of Bungo-Takata Nori cultural ground (1955～1956).

Date	W. T. (°C)	Sp. gr. (ρ_{15})	NO_3-N (γ/L)
16, Jan.	7.0	1.023	25
19, Feb.	7.5	1.024	13
27, Mar.	11.1	1.023	22
26, Apr.	15.6	1.022	18
23, May	19.9	1.022	23
23, Jun.	25.0	1.021	42
21, Jul.	28.5	1.021	58
22, Aug.	28.0	1.018	42
20, Sept.	26.3	1.023	60
27, Oct.	19.4	1.023	53
18, Nov.	13.6	1.023	110
15, Dec.	12.2	1.024	28

時に水温の低下をともない，更にいずれも干潟地を形成し，地形的に水流の増大が加味されて漁場としての価値を高めているものと考えられる．

なおこれらを朝鮮のノリ養殖場の海況と比較するため，竹島（全羅南道）の水温・硝酸態窒素その他の測定値を Table 11 にかかげた．竹島は朝鮮のノリ漁場の中心地である多島海

のほぼ中央に所在し，殆んど陸水の影響を受けず外洋水によって培かわれている養殖場である．この表についてみるに，川裾に所在しないにもかかわらず水温適度に低く，しかもその低温の時期が比較的長い．また気温は内海の養殖場に比べ水温の差以上に著しく低い．これら温度に関する事象は内海と朝鮮の漁場環境の間の最も大きな相違であり，また重要である．硝酸態窒素はやや多いようでもあるが，ある時期の広島などに比べれば決して特に秀でているとは言えない．しかし冬期ノリ時期に比較的多く，しかも内海にみられるようにはげしい変動を示さず安定している事実はみのがせない．これは何度も指摘したようにその給源を主として外洋水に受け，その硝酸態窒素は冬季に比較的豊富となるためと思われるもので，これまた彼我の漁場構成上の重要な根本的差異とみられる．

Table 11. Oceanographical data of Chikutô Nori cultural ground (in Korea).

Month	Decade	A.T. (°C)	W.T. (°C)	Sp. gr.(ρ_{15})	NO_3-N (γ/L)
Oct.	first	18.8	20.9	1.023	12.5
	second	17.1	19.2	1.024	15.0
	last	12.6	17.4	1.024	24.5
Nov.	first	9.8	15.1	1.024	27.0
	second	10.1	13.7	1.024	38.8
	last	9.9	13.0	1.025	54.7
Dec.	first	9.4	12.2	1.025	60.6
	second	4.8	10.6	1.025	70.9
	last	4.7	8.6	1.024	71.0
Jan.	first	1.4	7.8	1.025	77.8
	second	0.1	6.7	1.025	78.4
	last	−1.1	5.8	1.025	87.8
Feb.	first	2.4	6.1	1.025	67.1
	second	2.4	6.4	1.025	70.5
	last	3.2	7.3	1.025	66.9
Mar.	first	2.7	6.5	1.025	39.6
	second	6.2	6.6	1.025	34.2
	last	8.0	10.1	1.025	14.8
Apr.	first	10.3	9.4	1.025	13.0

更にこれら内海のノリ養殖場の海況を我が国の他の地方の養殖場の海況と比較するに，煩をさけて数値をかかげないが，各地水産試験場及び研究者によって報告されているように，東京湾[28)]・伊勢湾[25)]・三河・渥美湾[42)]・有明海[16)] など好漁場を提供する養殖場では水温適度に低く栄養塩類を充分に保有しており，また東北方面[41)] では水温の低冷に特長を示している．このようなノリ生育の好適海況に欠ける内海ではこれを補う漁場的要素として何らか他の要素を必要条件とする．一般に高水温におけるノリの培養には豊富な栄養分の供給を必要とし，もし不足する場合には栄養分の消費はげしく貧栄養に拍車をかけることとなるので，その補給に迅速な海水の交替即ち水流が不可欠となり漁場構成要素として重要な意義をもつものとなる．上にもしばしばふれたように内海で川裾にノリ養殖場が開けた理由の一端は川裾に形成される浅海干潟によって生じる迅速な水流を加えねばならない．

以上の考察により内海のノリ養殖場が川裾に発達した必然性の一面は説明し得たと思うが，しかし一方見方を変え，水温・栄養分乃至水流の条件に適合するため止むをえず川裾に

局限されているものだと消極的にみず，川裾にあることが却ってノリの生育を助長する何らかの要素を含んでいるのではないかとの積極的な見方もなり立つ．上に述べた要素以外に川裾にあることによって変動を受けるノリの環境要素としては比重の変化をあげることができる．よって次に比重によって受けるノリの生育の異同について究明し，川裾にあって比重の変動を受けるために生じる利害得失を明らかにしなければならない．

(II) 低比重海水のノリ生育に及ぼす影響

河川の流入によりノリが受ける比重の変動には，流入した淡水が分散混和されて起る全般的な海水比重の低下によるものと，淡水が海水上に薄い層をつくり，これがそのまま退潮時に流下しこの淡水乃至低比重海水層にノリが一時的にさらされる場合の二様が考えられる．全般的な海水比重の低下によってノリの受ける影響は低比重海水中におけるノリの生育を意味することとなり，薄層の低比重海水によって受ける影響は高低比重の激変のくり返しを受けたと同じこととなる．

海水比重のノリ生育に及ぼす影響については，古くは東京湾のノリ養殖場における観測などから，比重 1.018 以下の場所でなければならないとされていたこともあった[1]が，その後各地方の漁場の開発の経験から，高比重海水でもノリ生育にとって支障のないことが実証され,[16] 1.025 附近までは不適当でないと言われるようになった.[2] 富士川ら[23]はこれを培養実験的に究明し，海水比重 1.018 以下は却ってノリの生育にとって不適であり，1.024 前後を最適とし，更に高比重 1.030 においてもよく生育を遂げるものであることを明らかにした．而して低比重によって阻害される原因を海水組成が稀薄となることにより栄養障害を起こすこともその一であるとしている．松平ら[48]は種々の塩分濃度の海水中にノリを20時間浸漬して後光合成を測定し，塩分 12.00（比重 1.0158）~18.00（比重 1.0241）を良好な生育範囲としている．富士川ら[23]の比重を異にした海水中においてノリに光線を 2 時間照射して同化作用を測定した成績では，比重 1.024 以下で O_2/CO_2 の値が 1.0 以下となることから，この実験の範囲内では比重 1.024 を同化作用の調和のとれた最適の比重としている．これらの数値を検討してみて，ノリの生育に好適な海水比重は 1.024 を中心とする附近であり，低比重であって栄養分が不足する場合には 1.020 の程度ですでに障害があらわれ，栄養分の豊富な場合であっても 1.017 以下となれば生育を阻害されるものとすることは妥当とみなされる．実際に川裾のノリ漁場において降雨雪の後に一時的にこの程度の比重を示すことはあり得るが，長期にわたってこのような低比重を保持している川裾ではノリ養殖は適当ではないと言えよう．低比重養殖場の代表と目される東京湾の漁場においても比重 1.017 以下を呈することの多い場所は決して優良な養殖地ではないとされている.[26]

このように全般的な甚だしい比重低下はノリ生育にとって決して好適とは言えないが，川裾の漁場の海水が流入水によって均一な比重低下をきたすことは稀であって（内湾では勿論これに近い状態となることもあり得る）注流する河川の水量と地形によって差はあるが，一般には満潮時海水の上部に淡水乃至低比重の薄層をつくり，これがそのまま退潮時に流下し，漲潮時には多くは混和されるが，なお層をつくったまま押し上げられることさえあるのが実態である．従ってノリは 12 時間もしくは 6 時間に 1 回このような淡水乃至低比重海水にさらされることとなる．特に内海では波浪が弱くしかも干満の差が比較的大きいため，川裾の漁場ではこの傾向が強く10乃至30cm位の薄層として広がることが多い．これが

ノリ生育に好影響を与えるものであるかどうかを明らかにする必要があるが，このような現象について究明したものがないので次のような実験を行った．

〔一時的海水比重激変のノリ生育に及ぼす影響〕

ノリが上述のように低比重の海水にさらされる状態にはその低比重水層の濃度と厚さの違いにより差があるが，ノリにとっては一時的な比重の激変を受けることを意味し，その激変の程度と時間の違いが生じることとなる．

よってまず同一条件で培養しているノリを種々の低比重海水（1.000, 1.004, 1.008, 1.016, 及び 1.020 の 6 種）に 1 日 4 時間（比重 1.000 の場合は 30 分）浸漬した場合のノリ生育に対する影響を調べた．浸漬操作時以外には約 320L 容の木製水槽に比重 1.024 の濾過海水（$NaNO_3$ 0.01%添加）をみたし，この中に一様にノリを懸吊して往復運動式動揺を与えて培養した．影響の有無は培養前後の面積を測定し面積増加率を算出し，同時に生育状態を観察記録し，それらの異同によって比較した．長さ 3cm 内外，巾 4mm 内外のややひ弱な若いノリを用いた場合と成葉を用いた場合の 2 回の実験の結果を Table 12 に実験 I 及び II として示した．

表によってみるに実験 I においては，その面積増加率は比重の激変のはげしいものほど小さく殆んど直線的に下降し，比重 1.004 では毎日 4 時間の浸漬により数日間で枯死しは

Table 12. Effect of the sudden change of cultural medium specific gravity on the growth of Nori-frond.
〔Exp. I〕(exp. 1st～20th, Mar., W. T. 12±1°C)

No. of Exp.	Sp. gr. for sudden change	Area of fronds			Note
		Before culture (cm²)	After culture (cm²)	Growth rate	
1 (Sudden change for 30 min. a day)	1.000	1.82	1.88	2	After a week lost blackish color, turned slightly red, and has died partially on the last day.
2 (Sudden change for 4 hrs. a day)	1.004	1.16	—	—	On the 3rd day, showed abnormality in color and lustre, and died after 14 days.
3 (〃)	1.008	1.34	2.11	57	On the 3rd～6th day, the color tone became gradually worse, and finally the marginal part of frond was broken.
4 (〃)	1.012	0.60	1.54	157	As above, but somewhat better.
5 (〃)	1.016	0.63	2.22	252	On the midst, vitality is vigorous and color tone is good as the followings.
6 (〃)	1.020	0.68	2.71	298	Color and lustre are healthy throughout,and does not differ from No.7 macroscopically.
7 (Control, always only sea water)	1.024	0.51	2.45	380	Normal growth.

〔Exp. II〕 (exp. 10th～25th, Mar., W. T. 12°±1°C)

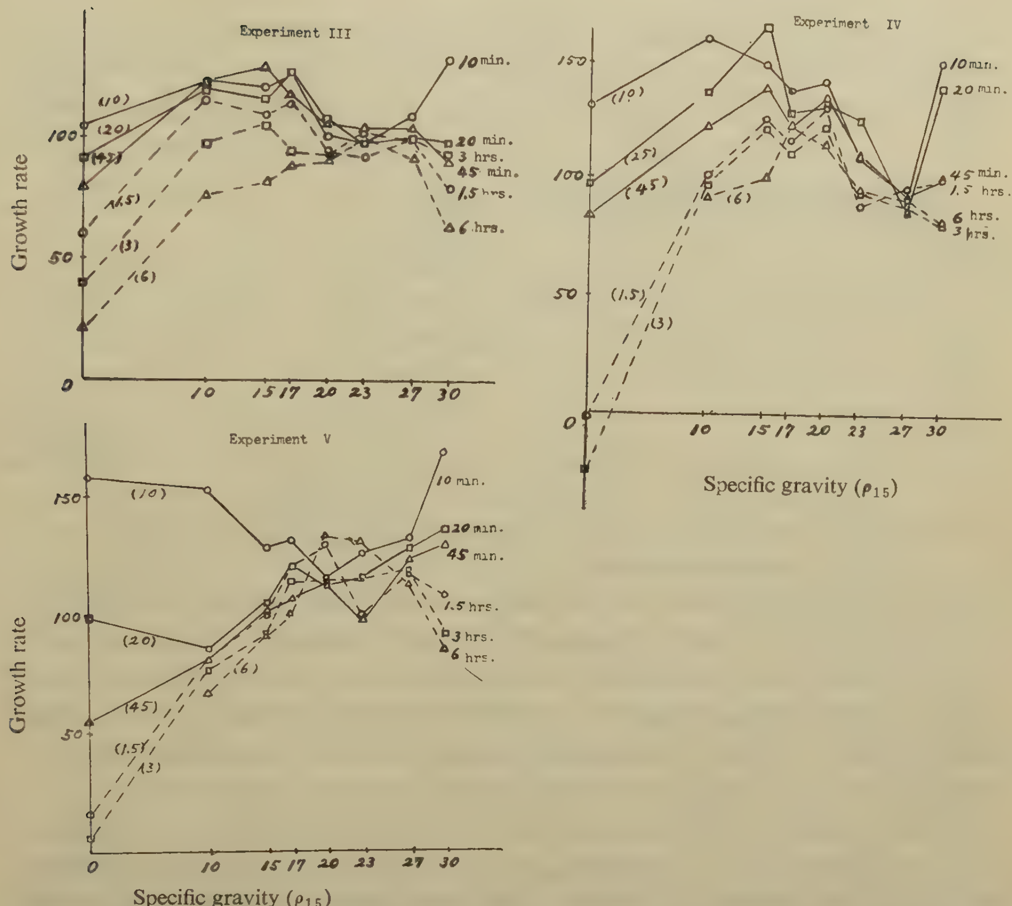
No. of Exp.	Sp. gr. for sudden change	Area of fronds			Note
		Before culture (cm²)	After culture (cm²)	Growth rate	
1 (Sudden change for 30 min. a day)	1.000	6.93	7.27	5	5th day, color tone became worse, and 8th day, three fronds almost died.
2 (Sudden change for 4 hrs. a day)	1.004	4.10	3.97	− 3	3rd day, became reddish, losing blackish color, and 5th day, two fronds are moribund.
3 (〃)	1.008	4.08	6.49	59	8th day, color and lustre became worse, and marginal parts of fronds fell off partially
4 (〃)	1.012	3.41	8.00	135	Became yellowish, losing characteristic nori color.
5 (〃)	1.016	4.14	11.16	170	Normal healthy growth, relatively.
6 (〃)	1.020	3.43	12.22	256	Last day, still show a vigorous vitality.
7 (Control, always only sea water)	1.024	3.00	10.41	247	As above, normal growth.

じめ，比重 1.000（淡水）では 30 分間の浸漬で殆んど生長のとどまることを知った．これに反し常時比重 1.024 の海水で培養した対照のものは特に生育良好生長旺盛であった．また成葉の実験では，比重 1.016 でやや生育阻害の徴がみえ，それ以上の激変では若い葉の場合と全く同様の傾向を示している．しかしいずれの結果においても比重 1.016 以上の海水に浸漬したものは外観的には差が認められず旺盛な活力を呈していた．

次に比重の種類を 1.000, 1.010, 1.015, 1.017, 1.020, 1.023, 1.027 及び 1.030 の 8 種類，浸漬時間を 10 分，20 分，45 分，1.5 時間，3.0 時間及び 6.0 時間の 6 種類に設定して同様の実験を 3 回行ったが，その成績は Text-fig. 3 の通りである．ただし数値が多いので対照（常時海水中培養）の示した面積増加率を 100 とした場合の，それぞれの面積増加率の割合のみを算出してこれを図に示した．

これらの図から細部にわたってはいろいろの事実を知り得るが，これを要約すると次のような諸点を指摘できる．比重 1.020～1.027 の範囲では比重激変によって生育に及ぼす影響は全くあらわれていない．1.017 以下の低比重に 45 分以内の短時間浸漬することは生長促進の効果があるようであり，しかも比重の低くなるにしたがって一そう短かい時間でなければならない．比重の高い 1.030 の場合にも 10～20 分間の短時間であれば激変が有効にはたらいているようである．しかしこの場合には肉眼的にみた色沢は必ずしも良好とは言えない状態であった．1.5 時間以上の浸漬はいずれの場合にも生育に障害を及ぼしている．

その他にも実験数値としては興味ある事実を見出し得るが，いずれにしても非常に短時間の激変が有効のようにみられるので，更に激変比重 1.017 以下，浸漬時間 15 分間以内につ



Text-fig. 3. Effect of the sudden change of cultural medium specific gravity on the growth of Nori-frond.

いて実験をくり返えした．即ち比重を 1.000, 1.0025, 1.005, 1.0075, 1.010, 1.013, 1.017 の 7 種，1 日の浸漬時間を 1 分，2.5 分，5 分，7.5 分，10 分，15 分の 6 種として同様の実験を行った．2 回の実験の成績は Text-fig. 4 に示した．

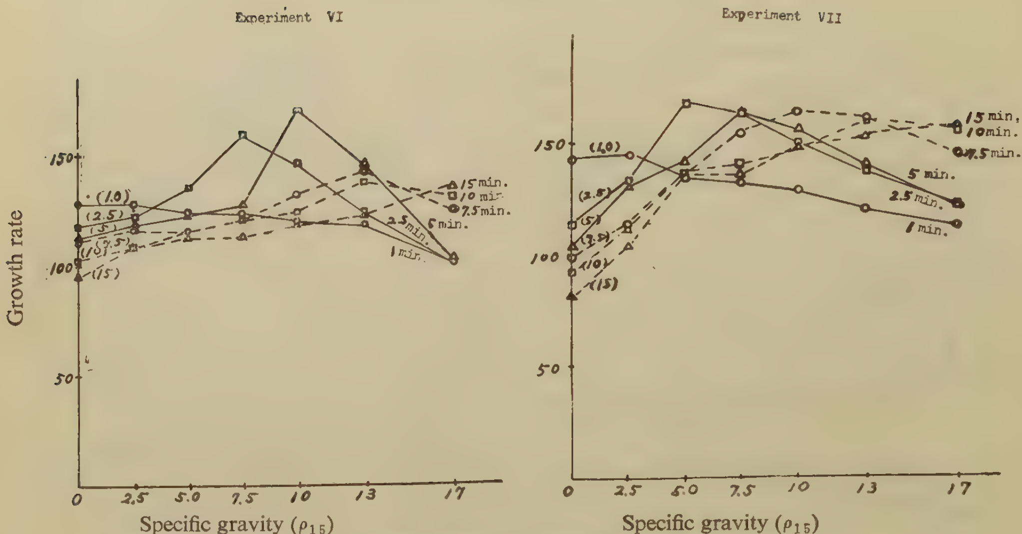
培養実験としては非常に微細な異同を追究しているので，面積増加率の最高を示す浸漬時間と低比重の程度との間の関係には多少の差異がみとめられるが，図にみられるようにノリの受ける影響の傾向としては同様にあらわれているものであって，これらの成績及び前実験の結果を総括要約すると次のように言える．

① ノリをある一定時間，その培養している海水と相違した比重の海水に浸漬すると時間が長ければ障害を受けるが，短かければ生育に好影響を与えるものである．

② 好影響を与える浸漬海水の比重は 1.017 以下及び 1.030 であって，浸漬時間は 1 日 10 分間以内である．

③ 浸漬は同一比重であっても時間の長短により，また同一時間であっても比重の高低によりノリに与える影響の程度が異る．最も良い影響を与えるためにはある比重ではある一定時間を，ある時間ではある一定比重を必要とする．

④ 今回の実験の範囲内では浸漬海水比重 0～1.0025 の間では1分間，1.0025～1.0075



Text-fig. 4. Effect of the sudden change of cultural medium specific gravity on the growth of Nori-frond.

の間では 2.5～5 分間，1.0075～1.013 の間では 5～7.5 分間，1.013～1.017 の間では 10～15 分間を最適とし，比重 1.017～1.027 の間は殆んど影響なく，比重 1.030 では 10～20 分間が適当であって，激変時間は一般的にいうと比重の低いほど短時間でなければならない．その影響の程度は比重 1.005 に 2.5 分間浸漬したものが通常海水のまま（比重 1.024）で培養したものより 70 %の面積増加を示し最大であった．その作用は一種の刺戟ではないかと思われるが機作については今後の究明によらなければ未だ明らかでない．

以上実験の示す通り一時的な比重の激変にさらされることはノリの生育にとって好影響を及ぼすものと認められるが，その時間は 15 分にみたない短かいことが必要で，その最適時間をこえると生育を阻害されるものである．従って実際の川裾のノリ養殖場で常にこの最適激変条件にノリがさらされているということはあり得ないので，これをノリ養殖場が川裾に発達している主要な理由とすることはできない．強いて言えば川裾の漁場では河川の水量・地形によってはこのような好条件にめぐまれる場所もあり得るものであって，川裾の漁場では場所による出来・不出来の差が著しいと言われる理由の一端はこれにあるかと思われる．しかし一般には常に一定の好条件にさらされるものではなく，偶然最適状態になることもあり，またそれをはづれて生育を阻害されることもあるという変動をくり返していると推測される．而してこのような場所では降雨雪の後海水表層が淡水層で覆われ，特に浮箕を表面浮動にしている場合などにこれに長くさらされ死滅流亡することさえしばしば経験する処である．

要するに内海のノリ養殖場が川裾に局限されている理由として流入する淡水による比重低下を重要視することは妥当ではなく，結局前節において考察したように水温の低下と栄養分の供給と更に適当な干潟地の提供と迅速な水流の加わることが主要なものであろうと考える．よって以下各節にこれら環境要素がノリ生育にとって如何なる影響をもつものであるかについて考察を試みる．

なおこれら考察に入るに先だち，内海と朝鮮の漁場環境が実際のノリ養殖上に如何なる異同を示すかについて移植試験の成績によって検討してみる．即ちこれによって異なる生活環

境から受けるノリの生育並びに性状に対する影響若しくは適応性乃至抵抗力を知り，この後に環境条件を解析して考察する場合の参考知見とし，また前節の内海と朝鮮の海況の比較は観測数値上のものであったが，これをノリの生態の上に具象化し，彼我の相違を一層明白にすることができるものと考える．

(III) ノリの生育に及ぼす内海及び朝鮮の漁場環境の影響

(I) 節において内海のノリ養殖場の海況と朝鮮のそれとを比較し，それぞれ異った漁場環境にあることを指摘したが，内海の典型的な養殖場である広島と，同じく朝鮮の典型的な漁場である竹島の間で互いに移植試験を行い，これによって実際の養殖にあたってノリの生育並びに性状にあらわれる環境の影響を明らかにしようとした．なお朝鮮においては極端に気温・水温の低い西海岸の大也島（富士川ら[24] によって新らしく開かれた養殖場）を加え，環境の特に甚だしい相違のある漁場についての考察の資とした．

まず各試験地のノリ養殖場としての特色の概要を述べて比較する．

広島（草津地先，Text-fig. 1 参照）は背後から太田川の七分流の一つ，最西端の己斐川が流入する南方に開けた干潟地であって，冬期には己斐川からの淡水の流入は比較的少く，他の分流からの淡水が沿岸水全体に混じる．古くから‘広島ノリ’の本場として知られ，優良な種子場でもある．干満の差は大潮時 3 m 内外小潮時には 2 m 弱となる．

竹島（Text-fig. 2 参照）は朝鮮南岸多島海の島嶼の間にあり河川の流入は全くない．海水は常に清澄で，干満の差は大潮時 4 m 内外に及ぶも小潮時には時期により変化があり，ノリ時期の初めには比較的大きく 2 m 前後であるが次第に小さくなり，3 月中旬には約 1 m となり海水停滞しノリは急激に衰滅する．漁場としては比較的古くから開け朝鮮のノリ生産地の中心で種子の採取をも行う．

大也島（Text-fig. 2 参照）は西海岸に面する小島で陸岸からの淡水の影響は殆んどない．干満の差の激しいことを特長とし，大潮時には 7～8 m 小潮時でさえ 3 m に達する．従って海水はかなり混濁し水流速く，富士川らによって開発されるまではノリの養殖など思いも及ばなかった水域である．

以上三試験地における試験期間中の気温・水温・比重及び硝酸態窒素の測定値を旬別に平均したものを Table 13 に示した．ただし広島の硝酸態窒素については試験当時に測定したものを欠くので，先にも引用した“瀬戸内海連絡調査要報”所載の本試験地に近い観測定点 HS 21（Text-fig. 1 参照）の測定値を参考としてかかげた．

Table 13 についてみるに，気温と水温とは広島が最高大也島が最低で竹島はその中間にある．しかも大也島の時期的変化の傾斜は急激で広島のものは緩慢である．その差は気温において最大約 11°C 水温において最大約 6°C の開きがあり，この両地において同様にノリの生育をみることは驚異に値し，ノリの温度に対する適応性が決してせまいものでないことを示すものと言えよう．海水比重は竹島がやや高いが，前節にも述べたようにこれらの程度であれば特に生育上の差異をあらわすとは考えられない．硝酸態窒素については竹島と大也島との比較では前者に多く約倍量を示している．而して 11月頃から増加の傾向を示し12, 1, 2月の頃最大となり 3 月中旬から急激に減少している．その経過は外洋性の海水の影響を受ける一般の漁場における変化と同様であるが，両者を比較すると最大に達し下降する山は大也島の方が竹島より少しおくれてあらわれている．硝酸塩の減少は海水中の plankton

Table 13-1. Observation values at the three Nori cultural grounds during the transplanting experiment.

Month	Decade	Air temp. (°C)			Water temp. (°C)			Sp. gr. (ρ_{15})		
		Chikutô	Taiyatô	Hiroshima	Chikutô	Taiyatô	Hiroshima	Chikutô	Taiyatô	Hiroshima
Nov.	first	9.8	9.0	16.7	—	—	19.2	—	—	1.023
	second	10.1	8.3	14.7	13.7	11.8	17.9	1.024	1.024	1.023
	last	9.9	6.7	13.5	13.0	12.1	16.7	1.025	1.024	1.023
Dec.	first	9.1	7.2	13.1	12.2	10.9	15.6	1.025	1.024	1.024
	second	4.8	1.7	7.8	10.6	9.0	13.7	1.025	1.024	1.024
	last	4.7	1.0	8.7	8.6	6.6	12.6	1.024	1.023	1.024
Jan.	first	1.4	−3.7	9.4	7.4	4.8	11.7	1.025	1.023	1.024
	second	0.1	−4.3	6.0	6.8	3.5	9.9	1.025	1.023	1.024
	last	−1.1	−5.8	5.1	5.8	1.8	8.6	1.025	1.023	1.024
Feb.	first	2.4	−1.5	8.2	6.1	2.5	9.2	1,025	1.023	1.024
	second	2.4	−0.9	7.0	6.4	3.0	8.8	1,025	1.023	1.024
	last	3.2	−0.6	6.7	7.3	3.0	8.4	1,025	1.023	1.024
Mar.	first	2.7	−0.4	6.7	6.5	3.1	8.6	1.025	1.023	1.024
	second	6.2	2.9	—	6.6	4.1	—	1.025	1.023	—
	last	8.0	5.1	—	10.1	5.3	—	1.025	1.023	—
Apr.	first	10.3	7.1	—	9.4	6.2	—	1.025	1.023	—
	second	10.7	8.1	—	9.0	7.0	—	1.025	1.023	—
	last	12.5	10.6	—	9.3	10.2	—	1.025	1.023	—

Table 13-2. Values of NO_3-N contents observed at Chikutô and Taiyatô Nori cultural ground (γ/L)

Month	Decade	Chikutô		Taiyatô	
		Value	Mean, monthly	Value	Mean, monthly
Nov.	first	27.1	40.3	17.5	18.5
	second	38.9		18.3	
	last	54.8		19.8	
Dec.	first	60.6	67.6	24.5	26.7
	second	70.9		28.0	
	last	71.0		27.5	
Jan.	first	77.8	79.6	33.5	35.8
	second	78.5		36.3	
	last	82.7		37.5	
Feb.	first	67.1	66.4	37.3	36.4
	second	70.5		37.3	
	last	61.9		34.4	
Mar.	first	39.6	26.2	23.0	19.4
	second	24.2		18.2	
	last	14.8		17.0	
Apr.	first	13.0		13.1	7.3
	second	—		6.1	
	last	—		2.7	

Table 13-3. Values of NO_3-N contents observed at Hiroshima Nori cultural ground. (γ/L)

Month	1954		1955		1956	
	Surface	Below 5m	Surface	Below 5m	Surface	Below 5m
Jan.	—	—	—	—	—	—
Feb.	—	—	24	6	—	—
Mar.	—	—	29	11	27	100
Apr.	—	—	—	89	—	—
May	—	18	85	38	96	48
Jun.	7	—	3	6	113	53
Jul.	7	—	1,360	—	67	54
Aug.	—	—	99	17	12	7
Sept.	149	—	—	—	81	8
Oct.	116	4	44	35	—	—
Nov.	22	3	12	—	—	—
Dec.	15	3	13	2	—	—

など微生物の繁殖によるとされているが，水温の比較では大也島がおくれて上昇しているからこれに関連あるものと思われる．いずれにしてもこの明らかな窒素源の差がノリの生育乃至品質に如何なる影響を与えるかは興味深い．参考としてあげた広島の硝酸態窒素からみると，この漁場では夏期に高く却って冬季ノリ養殖時期に低く，(I) 節においても指摘したように河川流による供給の故と思われるが，その量は冬期には竹島よりやや少いようである．

さて移植試験は竹島で種子付した割竹篊を 11 月 1 日に大也島に移植し，2 時間及び 4 時間露出として培養したものと，広島で種子付した篊を 1 月 9 日に竹島に移植し 4 時間露出として培養したものと，これら移植した篊と同様の条件で竹島及び広島において対照として培養したものとの相互の比較によって行った．即ち広島芽広島生育（4 時間露出），広島芽竹島生育（4 時間露出），竹島芽竹島生育（2 時間及び 4 時間露出），竹島芽大也島生育（2 時間及び 4 時間露出）の 6 種の試験篊を設定したものであり，比較はそれぞれの摘採量及び摘採品の色調・硬軟度（いずれも標準品を定めこれを 100 として肉眼観察により採点)・全窒素・灰分・還元糖・還元糖定量残留物・同上中粗蛋白・粗繊維を測定並びに定量して行った．

測定並びに定量の結果は Table 14 にかかげる．これらの数値をもとにして以下に比較検討を試みる．

摘採量による生育の比較は，広島芽竹島移植のものでは 1 月上旬に移植しているためその影響があると思われるのでこれにはふれず，竹島並びに大也島の摘採量について比較するに，当然のことではあるがそれぞれの海況を強く反映した生育過程をたどっている．即ち竹島では 1 月下旬に最高値を示し，この頃の水温（5.8～7.4°C）はノリ生育にとって好適であったものと思われる．これに対し大也島ではこの時期には水温なお低きに失し（1.8～3.5°C）充分な生長がみられず，却って 2 月末乃至 3 月中旬（水温 3.0～4.1°C）に至って急激な

Table 14-1. Variation of crop of Nori by transplantation. (gr.)
(Grown at Chikutô, bud form Chikutô)

Duration of exposure	Species of laver	Date of harvest					Total
		Dec. 31	Jan. 28	Feb. 20	Mar. 17	Apr. 7	
2 hrs	*Porphyra*	65.0	652.0	120.0	60.0	60.0	957.0
	Enteromorpha	290.0	180.0	13.0	25.0	14.3	522.3
4 hrs	*Porphyra*	145.0	720.0	315.0	192.8	167.2	1,540.0
	Enteromorpha	95.0	100.0	95.0	47.0	6.7	343.7

(Grown at Taiyatô, bud from Chikutô)

Dur. exp.	Sp. laver	Dec. 15	Jan. 6	Jan. 28	Feb. 20	Mar. 17	Apr. 12	Apr. 26	Total
2 hrs	*Porphyra*	470.3	368.5	306.6	625.8	663.7	615.6	550.0	3,600.5
	Enteromorpha	20.5	9.9	9.0	74.6	—	—	—	114.0
4 hrs	*Porphyra*	270.9	245.5	219.1	191.2	283.6	313.0	336.2	1,809.5
	Enteromorpha	21.5	33.5	61.9	54.0	24.2	17.8	31.2	244.1

(Grown at Chikutô, bud from Hiroshima)

Dur. exp.	Sp. laver	Jan. 26	Feb. 10	Feb. 25	Mar. 17	Mar. 28	Total
4 hrs.	*Porphyra*	98.0	102.0	120.0	60.0	37.0	417.0
	Enteromorpha	3.0	18.0	13.0	25.0	20.0	74.0

増量を示している．勿論このような旺盛な生育を示しはじめるのは水温のみによるものでなく大也島の 3 月の水温はまだ最適とは思われないが，この頃漸やく日照時間も延長されてこのような良好な生育をみせるものではないかと考える．いずれにしても大也島の厳寒期の1, 2 月には気温も低く（旬平均値は常に零下で最低−5.8°C）露出中のノリは氷結することもあり，一時生育を阻害されるにかかわらず死滅することなく，その後の生長は却って旺盛となり養殖期間も長くなり，総摘採量においては増大する傾向を示している事実は注目に値する．これによってみるとノリは移植に対する適応性大きく，また低温に対する抵抗力はかなり強いもので，気温水温の低いことはそれが生育好適温度以下であっても漁場の環境要素として決して不適格でないと思われる．

次に商品としての品等をあらわし，ある程度生育状態の良否をも示す色調と硬軟度の異同について Table 14-2 によってみるに，広島芽竹島生育と竹島芽竹島生育の比較では，青味においては大差ないが，黄味は広島芽のものに強く，黒味と赤味とは竹島芽の方がやや優れている．硬軟度は広島芽の方が幾らか軟かい傾向にある．このように生育地を同じくしながら両者の外観には明瞭な差異が認められる．この事実からみるとノリは環境によって変化するが，なお完全に同一環境では同一となるものではなく，原産地で最初に受けた性質の一部を保有するものと思われる．

Table 14-2. Variation of color tone and softness of Nori by transplantation.
(Grown at Chikutô, bud from Chikutô)

Color tone and softness	Dur. of exp.	Date of harvest				
		Dec. 31	Jan. 28	Feb. 20	Mar. 17	Apr. 7
Blackish	2 hrs.	95	80	75	70	65
	4 hrs.	95	80	80	70	70
Reddish	2 hrs.	95	95	70	60	20
	4 hrs.	95	95	60	60	25
Bluish	2 hrs.	0	10	30	20	30
	4 hrs.	5	15	40	20	30
Yellowish	2 hrs.	5	15	30	30	70
	4 hrs.	5	15	40	20	70
Softness	2 hrs.	95	95	85	80	60
	4 hrs.	95	90	90	75	70

(Grown at Chikutô, bud from Hiroshima)

Color tone and softness	Dur. exp.	Jan. 26	Feb. 10	Feb. 25	Mar. 17	Mar. 28
Blackish	4 hrs.	95	75	70	60	60
Reddish	4 hrs.	95	30	20	40	10
Bluish	4 hrs.	0	10	60	50	50
Yellowish	4 hrs.	50	55	70	80	85
Softness	4 hrs.	100	100	95	85	70

(Grown at Taiyatô, bud from Chikutô)

Color tone and softness	Dur. exp.	Dec. 15	Jan. 6	Jan. 28	Feb. 20	Mar. 17	Apr. 12
Blackish	2 hrs.	90	90	90	80	70	65
	4 hrs.	90	95	80	90	85	75
Reddish	2 hrs.	100	85	65	50	40	10
	4 hrs.	100	90	55	85	70	50
Bluish	2 hrs.	0	0	5	30	30	70
	4 hrs.	0	0	5	5	20	40
Yellowish	2 hrs.	5	10	35	40	40	30
	4 hrs.	5	10	45	20	30	30
Softness	2 hrs.	90	85	60	50	45	30
	4 hrs.	90	85	75	70	60	50

異なる環境の影響として，同じ竹島芽の竹島生育のものと大也島生育のものを比較するに，黒味と黄味においては前者が後者に劣り，青味と赤味においては時期によって甚だしく変化するが前者が却って勝っている．硬軟度は大也島生育のものが常に劣って幾分硬過ぎる感じがある．一般的に言って色調は大也島の方が良いが硬いと言える．而してこれらを広島芽竹島生育と竹島芽竹島生育の相違と比較するに，竹島芽大也島生育との相違の方がはるかに明瞭にあらわれているもので，環境の影響の如何に大きいかを知ることができる．

なおこれら性状の時期による変化をたどってみるに，一般にもよく言われているように黒味赤味が時期の推移とともに減退し黄味と青味が漸次勝ってくる傾向がみられるが，広島芽を竹島に移植したもので特に著しいことが気づかれる．これによってみると生育場所を変えたものは特に時期の推移，主として水温・光線・栄養塩類など環境条件の悪化とみなしてよいと思うが，これらの変化に鋭敏に感じるようである．

次に Table 14-3 により成分を比較してみるに，生育した地方による差つまり生育環境の影響が濃厚にあらわれ，原産地の固有性は殆んど認められない．即ち窒素含有量についてみても，大也島のもの最も多く竹島がこれに次ぎ広島のものははるかに少いが，竹島生育のものの広島芽と竹島芽の差異は殆んどみられない．また時期による窒素含有量の変化をみても，大也島が一番長く高い値を示し竹島これに次ぎ広島が最も早く減退している．しかし広島のものも時期の盛期（1 月 2 日）には何らの遜色も認められない．今これを各地の気温及び水温と対比させてみるに，窒素の含有量は温度の低い処に成育したものほど多く且つその豊富な含有量が永続し，温度の高い処に成育したものは時期による減退の傾向がいちじるしい．大也島の海水中の硝酸態窒素含有量は竹島の約半量で比較的少いにもかかわらず（220γ/L 前後）ノリの窒素含有量には全く影響していないもののようである．しかし竹島では 3 月になって葉体の窒素含有量が低下するが，これには水温の上昇と光の増強と海水中の窒素量の減少と，更に水流の遅滞が総合されて影響するものではないかと考え

Table 14-3. Variation of constituents of Nori-frond by transplantation. (% in dry matter)
(Grown at Chikutô, bud from Chikutô)

Dur. of exp.	Constituent	Dec. 31	Jan. 28	Feb. 20	Mar. 17	Apr. 7
2 hrs.	Total-N	7.67	7.18	5.61	5.60	4.32
	Crude protein	47.9	44.9	35.1	35.0	27.0
	Reducing sugar	25.0	27.2	36.0	33.5	42.9
	Residue of above	34.5	29.8	28.9	32.4	32.4
	Crude protein in residue	42.0	32.6	24.6	29.0	21.6
	Crude fibre	20.0	20.1	21.8	23.0	25.4
	Ash	9.5	10.0	9.6	9.3	7.8
4 hrs.	Total-N	7.40	7.28	6.44	6.35	4.65
	Crude protein	46.3	45.5	40.0	39.7	29.1
	Reducing sugar	29.4	26.8	33.0	34.2	43.7
	Residue of above	34.0	34.6	27.6	32.5	32.6
	Crude protein in residue	43.8	42.2	27.9	38.5	31.3
	Crude fibre	19.1	20.0	19.9	20.0	22.4
	Ash	7.5	10.0	10.0	9.3	7.4

(Grown at Taiyatô, bud from Chikutô)

Dur. exp.	Constituent	Dec. 15	Jan. 6	Jan. 28	Feb. 20	Mar. 17	Apr. 12
2 hrs.	Total-N	8.56	8.44	7.51	7.25	6.22	5.82
	Crude protein	53.5	52.8	46.9	45.3	38.9	36.4
	Reducing sugar	19.1	20.6	26.6	22.3	20.1	22.4
	Residue of above	29.1	26.1	26.1	27.6	38.1	39.0
	Crude protein in residue	45.0	44.4	39.3	29.0	33.6	32.8
	Crude fibre	16.0	14.5	15.8	19.6	25.3	26.2
	Ash	13.1	12.3	12.0	15.0	17.5	17.0
4 hrs.	Total-N	8.45	8.71	8.12	7.80	7.75	6.66
	Crude protein	52.8	50.4	50.8	48.8	47.2	41.6
	Reducing sugar	19.2	20.8	25.5	23.2	23.1	29.9
	Residue of above	28.5	28.5	22.9	23.5	29.1	23.2
	Crude protein in residue	42.5	43.2	37.6	38.3	44.7	34.1
	Crude fibre	16.4	16.2	14.3	14.5	16.1	15.3
	Ash	12.7	11.7	10.8	13.0	13.0	14.1

(Bud from Hiroshima)

Place of grown up	Constituent	Jan. 26	Feb. 10	Feb. 25	Mar. 17	Mar. 28
Chikutô	Total-N	6.74	6.93	6.59	6.19	5.26
	Crude protein	42.1	43.3	41.2	38.7	32.9
	Reducing sugar	32.2	30.3	35.1	33.1	34.3
	Residue	24.0	25.2	23.2	30.8	27.2
	Crude protein in residue	29.2	34.5	33.6	38.3	19.9
	Crude fibre	17.0	16.5	15.4	19.0	21.8
	Ash	11.5	11.1	9.1	9.4	10.0
		Jan. 22	Feb. 6			Mar. 26
Hiroshima	Total-N	7.03	5.39			3.30
	Crude protein	43.9	33.7			20.7
	Reducing sugar	25.1	32.0			42.5
	Residue	27.3	30.4			27.9
	Crude protein in residue	34.1	35.2			15.8
	Crude fibre	18.0	19.7			23.5
	Ash	14.4	14.6			13.2

られるもので，この頃にノリは急激に衰滅する．

還元糖の含有量はおよそ窒素の含有量の逆の数値を示しているようで，気温・水温の高い処のものに多く，時期の推移とともに増大する傾向にある．しかし全般的な傾向としては他の成分と同様生育地別の差異と時期的変化は大きいが，原産地による相違はあまり顕著ではない．

要するにノリはかなり適応性の強い植物であって異った環境に移してもよく生育し，その

環境の影響を受け，ある程度その地に特有な性状をもつに至るものと思われる．また時期の推移によって受ける変化も大きいが，これは自然の環境の変化の影響を受けたものとみなされ，特に温度（気温・水温）光による影響を重視しなければならない．即ち温度の上昇と光の増大にともなってノリの代謝作用が過大となり栄養分の不足をきたし正常な生育を続け得なくなり衰滅するものであろう．これらの経緯については以下の各節において更に考察をほどこすが，(I) 節において指摘した通り内海の養殖ではノリの生育にとって比較的水温高く栄養分も不充分であって，考え方によってはこのような衰滅期に近い状態でノリを養殖していることとなり，一層高度の技術的管理を必要とするものと言える．これに対し大也島のような低温の水域でも低温のためにノリは死滅するものでなく，生長は一時的に低下するが，窒素分の固定など却って良好で色調もノリ固有の状態にある点からみて，海水中の硝酸態窒素など概して豊富でなくとも低い水温と速い水流が充分これを補っているものであって，ノリの活度は比較的良好と言えよう．

(IV) ノリ生育の好適水温について

ノリ生育の環境要素のうち海水の温度が漁場を規制する要因として最重要なものの一つであることは論をまたないが，前節大也島の移植試験にも示されたようにノリは低温に対しかなり抵抗が強く生存を維持する温度範囲は広いので，その最適条件についてかって朝鮮において富士川ら[24] によって行われた培養実験の成績をもととして考察を試みる．即ち水温は本報文の主要課題である水流との関連が深いので，ここにその最適条件を明らかにしこの後の考察の基礎とする．

ノリの生育水温については実際の養殖時期中の観察から，“夏季の高水温が下降して 22°C 前後から 15°C 程度に低下するまでの期間が発芽期であり，15°C を下廻ると愈々発育生長の期となり寒冷となるに従ってよく繁茂し盛期となる．而して収穫の盛衰からみて，5°Cから 8°C が成長適温と考えられる．水温が 4°C 以下に低下すると成長速度が急に衰える．その後春になり 12, 3°C となる頃生育の時期を終る．時期中にも 15°C を超えると成長を著しく阻害される” と植田[2] によって述べられている．また松平ら[48] によってノリの光合成の温度の臨界点は 13.8°C 及び 15.8°C にあることがみられている．また胞子の発芽については実験的に果胞子では 8～14°C, 単胞子では 16～20°C であると植田[18] によって報告されている.[24]

富士川らの培養実験の結果によると 10°C 前後に良好な生育を示す山がありそれを越えると急激に衰えている．しかし低温では比較的よく生長し，0°C 近い温度でも停止するものでなく，特に培養期間が長くなるにしたがってより良好な生育を維持する傾向を示している．この点上記の “水温が 4°C 以下に低下すると急に成長速度が衰える” と述べている天然の観察によった結果とはやや趣を異にしているようであるが，天然の場合に 4°C 以下の水温となる時期には気温は更に低くノリが露出中氷結するような場合もあり，また一般にはその頃には日光の照射が弱くなるなど水温以外の生育阻害因子も加味されるのではないかと考える．培養実験では水温のみを規制しているもので氷結することもなく実験の行われた時期も 3～4 月の頃であったから光量にも相違があり 0°C 附近でもよく生育を遂げるものであろう．前節大也島の試験によると，旬平均水温がなお 3.0～4.1°C（旬平均気温 0.9～2.9°C）程度の低温を示しているにもかかわらず 2月末乃至 3月中旬になると急激に生長が

回復してくる事実からみて，天然においても他の環境条件の相違によっては 4°C 以下でもよく良好な生長を維持するものと言えよう．このようにノリの生育に及ぼす環境の影響はただ一環境要素のみで律することができず各要素の関連において考察せねばならない．

更に前記富士川らの成績によるとノリの生育に対する好適水温は老幼の程度を異にするにしたがって相違し，幼葉においては 11～13°C が最も生長旺盛であるが，老いるとともに降下し 6～8°C が生育適温となるとする．而して温度の変化による生長に及ぼす影響は老葉の方が僅少であるが，高温に対する抵抗は幼芽の方が大きく 18～20°C でもよく生育を維持し，成葉では 13～15°C ですでに衰滅に瀕する．これらの培養実験の成績は上記の植田の記載する処とほぼ一致しているが，この数値からみると冬季内海の普通の海水の示す最低温度 10°C 前後はノリ生育にとって最適温度の高限界に近い温度であり，養殖場の示す 7～8°C に至ってはじめて好適水温となるものと思われる．しかし (I) 節にも例示したようにその期間は比較的短かい．ここに内海のノリ漁場の欠点があり，これを補うものとして多量の栄養分の供給が必要であり，その伝達のため水流の増大が意義あるものとなる．

(V)　ノリの生育に対する窒素源の影響

海水を生活圏とするノリにとってその含有する塩類が栄養給源であることは当然であるが，海水の保有する栄養塩類中その多少がノリの生育に最も著しく影響するものは窒素源である，これに次いで燐の不足が目につき，その他にも微量の無機成分 (Fe, Mn, I, Zn, Co など)が何らか関与していることは培養実験にあたって，これらを補給してはじめて正常に近い生育状態を示すことにより推測される．ノリが多量の窒素源を必要とすることはその葉体の窒素含有量が一般の海藻乃至陸上植物に比して特に多く，粗蛋白量として 50 %にも及ぶものがある事実により推測できよう．実際の養殖場においても培養実験中にも窒素の不足による障害が最も目だち，ノリ葉体の窒素含有量が約 5 %以下になると著しい褪色を呈するものとされている[48]が，これに窒素源を与えると容易に色調を回復することは常に経験するところである．このように海水中の窒素分がノリの色調，ひいては品等に目にみえて影響するため早くから学者に注目され，すでに 1913 年に松井[14]は東京湾の海水の成分と生産するノリの品質について調べ，優良なノリの産地は劣等なものの産地に比し河水の影響を多量に受け化合態窒素に富むと述べ，その後も多数の人々[15),26),36)]により漁場の海水の性状と生育するノリの関係について報告されている．また不足窒素分の補給，即ち施肥の問題として古くから各地の府県水産試験場[3)7)17)]において試験的に，また最近は佐野ら[23]によって研究が進められ実用化が企てられている．(I) 節において硝酸態窒素のみからの推論ではあるが内海の漁場では特にその量の不足の徴があり，これが漁場を規制する重要な要因であるとしているので，ここに窒素源の種類による優劣と濃度の生育に及ぼす影響を培養実験的に追究してみた．

〔窒素化合物の形態とノリ生育との関係〕

植物体に対する窒素源の肥料効果はその窒素源の化合形態によって相違のあることは，陸上栽培植物の研究においてよく知られている処であるが，その優劣は植物の種類によって相違があるものとされている．またノリの場合にはその環境が海水中であって栄養分摂取機構も陸上植物と異るものであるから同日に論ずることはできない．

よってまず種々の化合形態の窒素化合物を用い，窒素量として 0.001% の濃度とした培養液を作りノリに往復運動を与えて培養し，その間の面積増加率及び色調の観察の結果により生育に及ぼす影響の差異を比較した．培養水温は 10～12°C, 培養液は 5 L とし径 30 cm 深さ 20cm の円型白磁製水槽を用い隔日に換水する．培養試料としては生育状態良好で同様とみとめられるノリ葉体 14 枚ずつを小割竹に結着したものを用いた．窒素化合物の種類は硝酸ソーダ・硝酸カルシウム・硝酸アンモン・亜硝酸ソーダ・硫酸アンモン・炭酸アンモン・塩化アンモン・酒石酸アンモン及び尿素の 9 種とし，対照として海水のみのものを加え 4 月23日～ 5 月20日の間培養したが，その成績は Table 15 に示した通りである．

Table 15. Effect of the form of nitrogenous compounds on the growth of Nori-frond. (exp. 23, Apr.～20, May, W. T. 10±1°C)

Source of nitrogen	Area of fronds			Color tone			
	Before culture (cm²)	After culture (cm²)	Growth rate	Reddish	Bluish	Yellow-ish	Black-ish
Natrium nitrate	77.8	240.8	209	5	25	45	25
Calcium nitrate	68.6	214.6	213	5	25	45	25
Ammonium nitrate	68.6	177.2	158	25	10	50	20
Natrium nitrite	81.6	215.0	164	0	10	70	20
Ammonium sulphate	66.1	133.2	102	25	10	50	20
Ammonium carbonate	62.3	166.2	167	25	10	50	20
Ammonium chloride	79.9	184.9	131	5	15	50	20
Ammonium tartarate	62.5	133.3	113	20	10	50	20
Urea	92.2	244.6	165	0	10	70	20
Control (only sea water)	84.9	128.4	51	0	30	70	0
Before culture				5	80	5	10

表の面積増加率の相違によって明らかなように，最も生長の緩慢なものは対照で，窒素を加えたものはいずれもこれより旺盛な生育を示し 2～5 倍に及ぶ生長率を示している．それらの中で最も良好なものは硝酸カルシウム，比較的良くないものは硫酸アンモンである．一般に硝酸塩の方がアンモニウム塩より有効なようでアンモニウム塩の中では炭酸アンモンが優良である．尿素がこれに近い生長を示すことは注目されるが，色調ではかなり違いがあり亜硝酸のそれに近く，少し黄味が勝っている．色調良好なものは活力旺盛と認められるが硝酸塩添加のもの特に硝酸カルシウム及び硝酸ソーダ添加のものが他を圧して優秀でノリ固有の色沢を有し，これに対しアンモニウム塩添加のものは黒味及び青味に乏しくやや赤味がかった色調を呈している．対照のものは色調最も悪くやや青味をおびた黄色で黒味赤味は殆んど認められず明らかに栄養分不足の様相を呈する．

これらの成績からみるとノリは局限された量の海水中で培養される場合，窒素源を窒素量として 0.001% 程度加えることによって栄養分不足をある程度緩和し得るものであると言える．ノリの養殖中にこれと同じような効果を現わすかどうかはなお攻究の余地があるが，海水中の窒素源の消耗・水流の緩慢などによって起る栄養分の不足には適当な窒素源補給により対処し得るものと考えられる．而して本実験によると窒素源補給の効果は硝酸態特に硝酸カルシウム・硝酸ソーダが最上でアンモニウム塩ははるかにこれに劣っている．松平

ら[48]の3日間の窒素吸収量の測定によれば，アンモニウム塩の方が硝酸塩より早く利用されるもので HARVEY[49]の植物性 plankton における結果と同様であり重要な知見であるとしている．また著者ら[52]の硝酸ソーダ・硫酸アンモンを加えた短期間の培養中（6日間）におけるノリ葉体のエキス窒素増加をみた実験によると，アンモニア態の方が硝酸態より速かに吸収され特に allanine の増加が著しいとの結果を得ている．しかし本実験のように長く生育を続けて生長に及ぼす影響をみる場合にはいささか趣が異るものであろう．松平は同じ報告に一週間後には，塩化アンモンは 20mg/L 量で光合成を阻害し，硝酸アンモン・硝酸カリ・尿素では促進すると述べているが，これに類する悪影響が本実験のように長くなると生育上に差として現われるものではないかと考える・なお松平ら[46]の生育実験によると幼芽期ではあるが硝酸カリが塩化アンモン・硝酸アンモンより窒素源として良かったとしている．また肉眼観察によるとアンモニウム塩類添加のものには一般に20日位後に萎縮撚転など外形的な異常が認められるが，これは薬剤による障害の現われともみられるもので，アンモニウム塩の方が硝酸塩より速かに吸収利用されるとしても正常な生育を長く続けられないものとも思われる．従って肥料とするためには障害を及ぼさない濃度における効果を追究比較する要があるものと考える．陸上栽培植物の肥料効果は硝酸態のものが速効性であり，アンモニウム態が遅効性とされ，これら肥料の土壌に対する吸着性の相違，脱窒素後の残存基の影響などから，植物の種類にもより一律には優劣が論じられないとされているが，生活環境が全く異り栄養分吸収機構を異にしていると思われるノリの場合にも，施肥効果の判定にはなお幾多の試験研究を要するものであろう．しかし上に述べた処により少くともノリの生育にとってある程度の栄養分欠乏の場合には窒素源の補給が有効であり，その窒素源としては硝酸態のものが危険なく効果も大きく使い得ると言えよう．

〔窒素源の濃度によるノリ生育の相違〕

ノリの窒素源の必要量は松平ら[48]によるとノリの含有窒素量と同化作用力の測定から正常な場合には乾物量の 5.0～6.5% 含むを要すると推定し，また富士川ら[22]によると養殖場の海水の窒素含有量と生育ノリの調査から海水交替の充分行われる場所では海水中の窒素成分含量 0.03mg/L にて足ると推論している．このような窒素源の濃度がノリの生育に如何なる影響を及ぼすものであるかを培養実験によってみるため次のような実験を行った．

即ち培養方法は前項実験と同様とし，窒素源の濃度のやや高い場合とやや低い場合と二回行った．ただし窒素源として前者は硝酸ソーダを，後者は硝酸カリを用い，また前者では培養期間中換水・露出を全く行わなかったもの，培養期間中換水せず露出は毎日50分行ったもの，毎日換水と50分間の露出を行ったものの三種の操作をほどこし，後者では毎日換水と50分間の露出を行った．窒素源を違えたのはこれが濃度の適度に何らか関係あるものか，また換水は海水更新の影響を推測するため，露出はノリに健全さを保持させるため行ったものである．

これら二回の実験の結果は Table 16 に示した通りである．これらを実験 I 及び実験 II としてその結果を考察する．

まず表の面積増加率の数値を通覧するに，硝酸ソーダもしくは硝酸カリの添加はノリの生長に特に有効に作用するものではなく，却って全般的には対照即ち無添加のものに劣るという甚だ奇異なる結果を示している．これによれば窒素源の添加はノリの生長を助長するもの

Table 16. Growth of Nori-frond at various concentrations of nitrogenous source.
〔Exp. I〕(used: Natrium nitrate, exp. 5, Feb.～2, Mar., W.T. 10±1°C)

Treatment	Concentration (%)	Area of fronds: Befoce culture	After culture	Growth rate	Color tone: Reddish	Bluish	Yellowish	Blackish
		(cm²)	(cm²)					
(A) No change of water and exposure.	1	8.6	43.1	401	30	80	70	30
	0.1	10.4	75.5	626	25	80	70	30
	0.01	12.0	79.8	565	20	85	85	25
	0.001	14.7	69.2	371	15	90	90	20
	(control) 0	13.4	84.2	528	10	100	100	20
(B) No change of water, but exposed daily	1	11.2	38.3	242	35	80	70	75
	0.1	13.5	57.2	324	30	80	70	35
	0.01	12.1	40.7	236	25	80	85	30
	0.001	10.0	30.9	209	20	90	90	25
	(control) 0	6.1	29.6	385	15	100	100	25
(C) Change of water, and exposed daily.	1	10.0	51.8	418	100	40	5	100
	0.1	12.1	90.6	649	100	40	5	100
	0.01	10.8	71.8	565	95	40	5	100
	0.001	14.4	77.7	440	95	40	5	90
	(control) 0	10.3	78.9	666	80	45	5	90

〔Exp. II〕(used: Kalium nitrate, exp. 21, May～10, Jun., W.T.10±1°C, change of water every day)

Concentration (%)	Area of fronds: Bef. cult.	Aft. cult.	Gr. rate	Color tone: Reddish	Bluish	Yellowish	Blackish
	(cm²)	(cm²)					
0.01	15.6	39.5	153	100	80	40	100
0.001	9.0	21.6	140	100	80	40	100
0.0001	16.3	38.6	137	100	80	40	100
0.00001	10.4	20.2	94	100	100	40	100
(control) 0	9.4	24.8	164	60	80	100	70

でなく，その生長は自然の海水中に含有する窒素分で充分であると言わねばならない．この点前項の成績即ち窒素源の補給によりノリの生育を2乃至5倍高めることができるとの結果と大きな相違を示しているようであるが，この事実は細かく検討してみると次のようないろいろの興味ある事柄をあらわしているものである．

まず前項の実験と本実験の生育上にあらわれた相違を比較するに，前項実験の無窒素区（対照）の面積増加率は51に過ぎなかったが，本項実験では実験Iにおいて358～666，実験IIにおいて164に及んでいる．このように同じく天然海水のみを使っていながら生育に差を生じた原因と思われる実験上の相違は，培養時期・使用海水の性状・培養試料の大きさの三事項をあげることができる．このうち培養時期については本項実験Iは2月5日～3月2日，前項実験は4月23日～5月20日であってかなりのへだたりがあるが，本項実験IIは前項実験に続いて5月21日～6月10日の間に行ったもので時期的には近い．培養時期の違いは水温・気温の相違をもたらすとまず考えられるが，水温はいずれも10±1°Cに調節しており影響は少く，気温は露出時に直接的に影響するものと思われる．次に光の照射の条件の違いが考えられ，また天然海水を使っているのでその性状の差が指摘される．本項実験Iと他の両実験の相違は培養時期の異るためにおこるこれら条件の差によって説明できるが，本項実験IIと前項実験の相違はこれによっては説明しがたく，その主たるものとしては培

養試料の大さの差が考えられる．即ち前項の実験では 84.9cm² のものを用いているに対し，本項実験 II では 9.4cm² で約 1/9 の大さのものであった．処でこれらの実験を行った頃の海水中には比較的栄養分少く，本項実験のように小さい試料を使った場合には毎日換水を行えば 5L の天然海水中の栄養分で不足をもたらさず生育を続けるが，前項程度の大さのものであると隔日の換水ですでに不足の徴を呈するものと思われる．このように推論した理由はノリの生育状態の良否をあらわすとみなされる色調の比較によって更に明らかに裏づけられる．即ち前項実験の対照のノリは殆んどノリらしい色調を呈していないが（黒味 0），本実験 II の対照はなおよくノリ本来の色調を保ち（黒味 70）その生育状態が大して不良となっていないことを示している．これらの成績からみると，ノリはその葉体の大さに対し海水中の栄養分がある限度以下になると色調を失い生育に支障をきたすが，さもなければ海水中の栄養分のみでも著しく生長を阻害されるものではないと言えよう．

このように本項実験 II の対照には甚だしい生長の障害は認められないが，これをノリ生育の好期である 2 月に行った同じ操作の実験 I の (C) の対照のものに比較すると生長率・色調ともに著しく劣っていることが認められる．この両者の条件の相違は培養試料の大さには大差なく主として培養時期の差，即ちそれによって派生する照射光線及び使用海水の性状の違いによるものと考えられる．このように実験 I の対照は生育状態概して良好であるが，これを窒素添加のものと比較するに生長率においては優れているが色調においてはやや劣っている．同じような傾向は実験 I の露出・換水の操作を異にする他の実験でも，また実験 II では更に強調して対照と窒素添加のものの間に認められるところで，窒素源の補給は必ずしも生長を助長しないが，明らかに色調を良好にする効果があると言えよう．実験 II の成績が示すように 0.00001% (1L 中 0.1mg) ですでにその効が現われている．

窒素添加のものが一般に僅かではあるが対照即ち天然の海水のみのものより生長率の低い理由については未だ考察をほどこすに充分の資料をもたない．しかし窒素添加のものの間では 0.1 乃至 0.01% 添加のものがいずれも最高を示していることは充分の窒素分の存在する場合の最適量とみなすことができ，上記の考察に一つの示唆を与えるものではないかと考える．上にも述べたように色調その他外観から生育状態を観察するに窒素添加のものは天然海水のものに比べノリ本来の正常な姿で健全な生育をしているようにみられる．かって富士川[22]はノリ固有の色調をもたずしかも著しい生長を示すものを異常生長とみなし，これらのものが面積の増大するにもかかわらず重量の増加をともなわないところから，あだかも密植した山林の樹木が日光を求めて徒長するものと同じく，色素の量の不足したノリはその日光吸収面をひろげるため異常な生長を示すものであろうと述べているが，このように合目的でなくとも，ノリはある程度の量の色素をもっておれば（主として Chlorophyll）同化作用には支障をきたさず普通の海水中の含有窒素量があれば充分生長し，それ以上の窒素源があれば他の色素蛋白の生成をうながし色調を良好にするものではないかと推測する．窒素源の補給が直接同化作用を促進させるものでないことは松平[48]も指摘している処である．しかし以上は単に現象をもとにして推論したものであって今後更に究明を要する．実際の養殖中にもこの現象は見うけられる処で，瀬戸内海の外海水による培養においては色調不良でもよく生長する場合がある．この生長後のノリに上に述べたように窒素源を添加培養し色調を回復させることは養殖技術上興味ある問題である．

次に換水の影響を実験 I の結果についてみるに，換水を行ったものは行わないものに比し

生長率，色調ともに優れ，特に色調においてその差が著しい．生長率においては自然海水で培養したものの間ではかなり差があるが，窒素源を添加したものでは差が小さくなり，換水せず無露出のものと換水露出のものの間の数値は殆んど近似する．換水しないものではノリの排出する老廃物の集積・栄養分の欠乏・微生物の発生による害作用などが考えられるが，同じく換水しないものの間でも窒素源添加のものは無添加のものほど害作用があらわれていない点からみると，栄養分の欠乏が最も顕著な障害であったものとみなされる．また窒素源添加のものも色調においては天然海水のものほどではないが換水しないものが換水したものに比し著しく劣っている．換水しないものでは窒素源を添加した場合でもこの実験の程度に培養期間が長くなれば色調に影響する程度の欠乏をきたすものではないかと考える．この点についても天然海水に含まれている他の栄養塩類をも含めて培養期間中の窒素源を追究する今後の究明にまたねばならない．いずれにしてもノリの生育はその適期には換水が充分に行われれば自然海水の程度の稀薄な濃度の窒素量でよく，それ以上の生長は窒素源を補給しても望みがたく，ただこれによって色調の発現に効果を示すものと言えよう．

露出を行ったものと行わなかったものの差異は一般に前者は後者に比して生長においては劣るが色調においては勝れ，富士川ら[23]によって野外試験の結果指摘される処とよく照合している．

(VI) ノリの生育に対する最適水流について

ノリは海水中にただよって生活しているので，その栄養分の補給には接触する周辺の海水の交替を必要とする．特に生長の早いものであって，かなりの窒素源を必要としながら前節に述べた海水中の窒素含有量が比較的少量で足る場合のように，栄養分が不充分でこれを補給するような場合には急激な海水の交替が行われねばならないものと思われる．それではその適度はどの程度であろうか．これについては密植との関連もあり漁場における観察をもととしてしばしば概念的に述べられている[1)2)3)]が，数値的にこれを明らかにしようとしたものは富士川ら[24]が朝鮮において行った試み以外には見あたらない．

これによると“流速の最大度を 22cm/sec に制限し自然海水のままのものを培養液となす場合には培養海水 500L 中に長さ 3cm, 葉体面積約 1cm² のノリ 6個をつけた小篊 4 本を培養する程度でも，31日間の培養中に流速による色調・窒素含量・重量などの差異が現れて流速大なるほどすべてにおいて良好である”と極めて小型のノリを大量の海水中に培養する場合にも流速がその生育に至大の影響を及ぼすものであることを述べている．ただしこれについて“決して安定の結論を導くまでに多数の資料を集めたもでのなく試案として提案する”と断り書きをしているものであってこれらを確認発展させるため次のような培養実験を行った．

実験成績を述べるに先だちまずこれらに用いた培養装置について説明しておく．

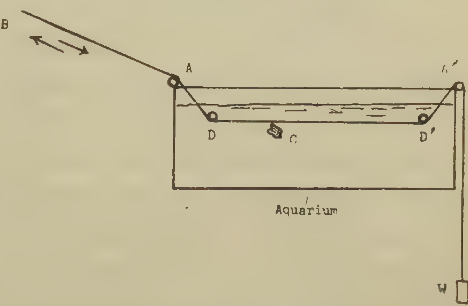
〔水流試験に用いた培養装置〕

水流を実験的に起させる方法としてはポンプ乃至プロペラを用いて海水の高低差若しくは流動を起させて水流を生じさせる方法がノリとの関係において最も実際の海水の流動に近いものと考えられるが，装置が大規模となりまた流速を一定にすることが難かしいので，海水を静止状態におきノリを一定速度で運動させ，これによってノリ自体に一定の水流を受け

るものとみなした．勿論これによって厳密に正確な流速を設定することは難かしいが，ノリの運動の遅速により接触する海水の交替に緩急を生じ，これに応じてノリの生育に対する影響があらわれるものと考える．このようなノリの運動によって水流を生じさせる方法として，装置的に容易なものは往復運動式及び円運動式の二種が考えられる．それぞれの装置を説明すれば次の通りである．

往復運動式培養装置 :——

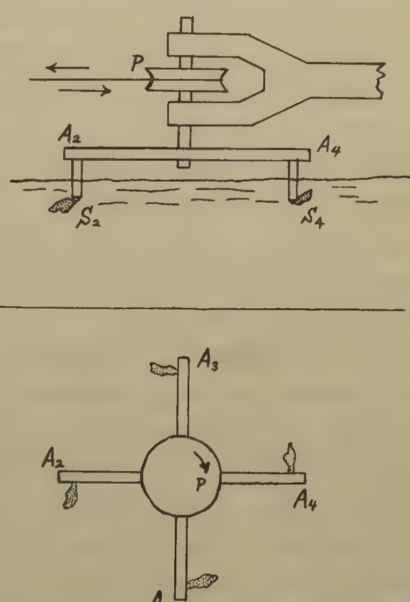
Text-fig. 5 に示すように培養水槽の壁の適当な位置 A, A' に滑車を設けこれに綿糸を通し，その一端を重錘 W に，他端を一定の速度で回転する曲軸 B に結び，線糸の中央部Cの処に供試ノリを附着させた簇を綿糸と直角に結びつける．こうすると簇は一定の速度で槽内の一定の深さを前後に往復運動することとなる．また簇と水面との深さは海水の量と槽内にとりつけた糸押へ D, D' の位置で自由に一定に設定することができる．なお簇の運動の速度は軸の回転速度と曲軸の腕の長さできまるから，腕の長さを変えれば同一軸の回転によって種々の速度が得られる．この装置を用いて実験する場合の欠陥は速度の大きいものを加えると攪拌作用がはげしくなり，同一水槽内にある速度の低いものにも，運動の速度であらわしている水流以外の流動を感じさせることにある．特に流速の小なるものを測定しようとする場合，この影響を著じるしくこうむる．従って水質を一様にする意味で，同一水槽内で行う実験の流速の範囲を余り広くすることはできない．



Text-fig.5.　Culture apparatus of reciprocating motion type.

円運動式培養装置 :——

Text-fig. 6 のような装置を用い，ノリ自体に円運動を与えその角速度の遅速によって流速の変化を生じるようにした．即ち P なる木軸の下端に A_1～A_4 なる 4 本の腕を四方対称に出し，これを一定速度で回転させる．A の先端にはそれぞれ S_1～S_4 なる供試ノリをつけた竹簇を結びつける．一般には P の回転速度を変え，培養水槽には数個の同大の円形のものを用い一定の深さでAを回転させるが，A の長さを長くし，その中間に適当な距離をへだてて簇をとりつけ，同一水槽内で同時に異った流速の比較をすることもできる．勿論この場合にもあまり広い範囲の流速の違いを設定することは適当でない．そのためには P の回転



Text-fig. 6.　Culture apparatus of rotating motion type.

を非常に早くするか，または A の長さを極端に長くすることとなり，水の回転流が大きくなるか，または装置の構造が大きくなるからである．またそれほど早く回転させぬ場合でも海水を完全に静止の状態におくことは不可能で海水は試料の回転にともなう水流乃至渦流を生じるから，明らかな回転流についてはその速度を実測しこれを減じて，流速として表示しているノリ自体の回転速度を補正する．

なお上記両装置を構造上の違いから，ノリの海水に接触する状態，光の受け方などに差異を生じるから考察にあたってはこれを考慮する必要がある．即ち往復運動の場合には折返しの際にノリは方向転換を余儀なくされるので，葉体が攪乱された形となるが，円運動のものは一定方向の流れを受けているため，葉体は常に同じような形を保っていることとなる．天然においても海水の流動は潮汐による水流・波浪による攪乱・温度差による対流など種々の原因によって起っており，それぞれの場合に応じてノリの受ける状態は違っているものであるが，前者は波浪によって葉体が攪乱されている様に，後者は潮流によって一方向に流されている様に似ており，ノリに接触する海水・照射する光などの関係が異ってくる．よって実験にあたってはその趣旨にしたがって適宜いずれかの方法を採用し，考察の際考慮することとした．

〔最適水流の探究〕

上述の富士川らの実験によると水流 22 cm/sec までは流速の早いものほど生育良好との結果を得ているので，流速 20 cm/sec と 0 cm/sec との間の比較を追試してみた．即ち上記実験が往復運動式培養装置を用いていたので，同様の装置を用い葉体の面積・重量・窒素含量及び色調にあらわれる影響をみた結果が Table 17 実験 I として示した処である．次にこのような往復運動式培養法では，その装置の機構上から水槽内の海水全体に攪拌的流動が生じ，流速の遅いものについての水流の影響が不分明となり最適水流の考察にも支障をきたすと考えたので，円運動式培養装置を用い 80, 44, 20, 5 及び 1 cm/sec の 5 通りの流速について同様の事項を比較した．ただし円運動による海水の回転流の影響をできるだけ実験結果に介入させないため，速いもの（44 cm/sec 以上）と遅いもの（20 cm/sec 以下）と培養水槽を別にした．その結果は Table 17 実験 I 乃至 IV に示したが，この中実験 IV の A, B は供試ノリとして特に老葉を用いた．

表の実験 I についてみるに富士川ら[24]の指摘した事実は正しく，13 日間の培養ですでに面積増加率・窒素含量・色調など全ての点において水流を受けたものと受けないものの間に明らかな差を生じている．

次に活力旺盛な葉体を用いた実験 II 及び III の成績についてみるに，面積ではいずれも流速 20 cm/sec が最も大きい増加率を示している．その上と下の低下傾向から推測して，この前後に水流の最も好適な条件があるのではないかと思われる．即ち 5cm/sec 以下の停滞水に近い水域のものではその面積は殆んど増加しないか，却って多少損傷して減少しているものさえある．また流速大なる方の 44 cm/sec においては，すでに流速過大の徴があらわれ 20cm/sec のものより生長率はかなり低下しており，更に 80 cm/sec に及ぶと殆んど面積の増大がみられない．このように 20 cm/sec をほぼ頂点として，停滞水も強水流も面積増加率の低下をもたらすが，その生育阻害の原因を考察してみると当然ながら全く異質のものである．肉眼観察によるノリの状態から推測するに，停滞乃至水流の弱い場合には，栄

Table 17. Effect of the velocity of water current on the growth of Nori-frond.

Exp. I (number of fronds 16, exp. 7～20, Feb., W.T. 10±1°C)

Series of exp.	Velocity of current (cm/sec)	Area of fronds			Weight of fronds			N content of fronds			Color tone			
		Before culture	After culture	Growth rate	Befoer culture	After culture	Growth rate	Before culture	After culture	Percent increase	Blackish	Reddish	Bluish	Yellow-ish
A	20	(cm²) 83.0	(cm²) 110.4	33	(gr) 0.063	(gr) 0.130	107	(mg) 3.74	(mg) 8.72	133	100	80	40	5
	0	118.6	130.6	10	0.090	0.134	50	5.35	7.17	34	80	60	30	5
B	20	117.1	129.4	19	0.090	0.139	54	5.37	8.46	58				
	0	99.9	109.9	10	9.076	0.105	39	4.51	5.86	30				
									Before culture		90	70	40	5

Exp. II (number of fronds 16, exp. 18, Feb.～9, Mar., W.T. 10.5±1°C)

Series of exp.	Velocity (cm/sec)	Area of fronds			Wt. of fronds			N cotent of fronds			Color tone			
		Before culture	After culture	Growth rate	Before culture	After culture	Growth rate	Before culture	After culture	Percent increase	Blackish	Reddish	Bluish	Yellow-ish
A	80	(cm²) 133.3	(cm²) 118.3	−11	(gr) 0.085	(gr) 0.131	54	(mg) 5.33	(mg) 5.89	10				
	44	114.1	132.7	16	0.073	0.181	149	4.56	8.11	78				
	20	101.9	197.0	93	0.065	0.274	320	4.08	16.24	298				
	5	88.4	96.3	9	0.057	0.104	83	3.54	4.73	33				
	1	172.2	152.6	−11	0.110	0.167	52	6.89	7.84	14				
B	80	114.8	97.6	−15	0.073	0.096	30	4.59	4.03	−12	20	10	90	40
	44	90.9	110.5	22	0.058	0.134	131	3.63	5.97	64	60	60	40	60
	20	93.6	219.6	135	0.060	0.277	353	3.74	15.06	302	100	70	40	10
	5	97.2	90.1	− 7	0.062	0.094	51	3.89	4.32	11	60	30	50	40
	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
									Before culture		90	60	40	5

Exp. Ⅲ (number of fornds 16, exp. 21, Feb.~12, Mar., W.T. 10.5±1°C)

Series of exp.	Velocity (cm/sec)	Area of fronds			Weight of fronds			N content of fronds			Color tone			
		Before culture	After culture	Growth rate	Before culture	After culture	Growth rate	Before culture	After culture	Percent increase	Blackish	Reddish	Bluish	Yellowish
		(cm²)	(cm²)		(gr)	(gr)		(mg)	(mg)					
A	80	128.5	160.0	24	0.115	0.144	25	7.32	5.07	−31	30	50	70	40
	44	147.8	190.8	29	0.133	0.228	72	8.40	11.17	33	50	70	60	30
	20	130.6	281.4	115	0.117	0.337	188	7.41	20.21	172	100	70	50	0
	5	139.1	161.2	16	0.125	0.149	20	7.90	7.40	− 6	40	50	60	30
	1	114.0	101.8	−11	0.102	0.094	− 7	6.48	4.29	−36	30	30	60	50
B	80	113.6	143.4	26	0.102	0.157	54	6.46	7.01	8				
	44	139.1	194.9	40	0.125	0.220	67	7.91	11.69	48				
	20	135.2	246.6	82	0.121	0.287	137	7.68	16.36	113				
	5	141.1	185.1	31	0.126	0.199	57	8.01	9.51	19				
	1	135.3	121.1	−10	0.121	0.110	− 9	7.68	5.29	− 3				
									Before culture		90	60	50	10

Exp. IV (number of fronds 8, exp. 12, Mar.~1, Apr., W.T. 12±1°C)

Series of exp.	Velocity (cm/sec)	Area of fronds			Weight of fronds			N content of fronds			Color tone			
		Before culture	After culture	Growth rate	Before culture	After culture	Growth rate	Before culture	After culture	Percent increase	Blackish	Reddish	Bluish	Yellow-ish
		(cm²)	(cm²)		(gr)	(gr)		(mg)	(mg)					
A (older frond)	80	67.4	99.6	48	0.090	0.130	46	4.98	6.56	32	75	70	50	10
	44	78.9	126.0	60	0.105	0.178	69	5.84	9.29	59	90	70	50	5
	20	68.5	115.6	69	0.091	0.141	55	5.06	7.65	51	90	80	50	5
	5	79.4	127.4	60	0.106	0.188	78	5.87	8.67	48	80	75	50	5
	1	70.9	40.7	−44	0.094	0.053	−44	5.24	2.54	−52	50	40	70	50
B (older frond)	80	39.7	39.8	1	0.037	0.048	29	2.59	2.48	−4	50	60	50	60
	44	45.6	76.8	68	0.043	0.092	113	2.98	4.57	53	100	70	50	5
	20	44.3	41.6	76	0.042	0.041	−2	2.90	2.40	−17	100	80	50	5
	5	42.2	79.7	89	0.040	0.118	196	2.75	5.60	103	90	75	50	10
	1	42.3	36.2	−14	0.040	0.049	24	2.76	2.20	−31	60	50	10	40
C	80	32.5	61.1	68	0.031	0.053	71	2.14	2.48	16	75	70	40	10
	44	46.7	83.7	79	0.044	0.115	162	3.04	5.74	89	80	70	50	5
	20	45.9	102.2	123	0.043	0.126	191	3.00	7.14	138	90	80	50	5
	5	42.4	67.2	60	0.040	0.092	130	2.77	4.48	62	90	75	50	10
	1	45.9	49.1	7	0.043	0.056	29	3.01	2.77	−8	60	50	70	45
D	80	54.2	71.4	32	0.051	0.083	63	3.56	4.04	14	75	70	50	10
	44	44.0	88.2	101	0.042	0.107	146	2.87	5.55	93	90	70	50	5
	20	45.8	115.8	153	0.043	0.128	197	2.99	7.57	153	100	80	50	5
	5	46.5	132.9	186	0.044	0.175	298	3.04	8.12	167	90	75	50	5
	1	42.6	52.6	34	0.040	0.056	40	2.41	2.73	−1	60	50	70	40
									Before culture		100	35	50	10

養分の補給が不充分となり，ノリの活力が鈍り老廃物の排除も不完全となり，その上浮游物の沈着・細菌類の着生をもゆるすものと思われる．これに対し水流の強い場合には，藻体の捩れにより受光面が減少し同化作用の減退をきたすことが最大の原因であって，本実験の程度では強水流のため，ノリ葉体が切れて流れるような機械的障害は起らないようである．勿論ノリの活力が落ちてくると切れて流れるものも見受けられるが，一般には活力旺盛な間は切れるものは見あたらない．

なお老葉を用いた実験 IV では水流に対する感応鈍く，また生長力そのものも低下しているようで，5～44 cm/sec の範囲ではそれほど顕著な差異を示さない．しかしこの場合にも停滞水に近いものの障害は明らかにあらわれるもので，生長の鈍っている試料である点から推測し，この障害の原因は栄養分補給の不足よりむしろ老廃物排除の不完全によるものではないかと考えられる．

次に重量の増減について Table 17 により検討してみるに，ほぼ面積の場合と類似の傾向を示しているものであることを知る．ただ適度の水流とみなされる 20 cm/sec における増加率は面積の場合の 2, 3 倍を示し，好適な水流はノリ葉体の厚さを増大させるもの，言い換えれば充実した状態にするものと認められる点は注目に値する．また窒素含有量の変化も重量と殆んど同様の傾向を示し，単位重量に対する窒素の含有量も流速 20 cm/sec が常に最高値であることは，好適な水流が品質を良好にし，窒素の同化作用にも優秀な条件となっていることを意味するものと考えられる．肉眼観察によると 5 cm/sec 以下の低速度のものでは葉体が黄味強くなり，葉面に細胞の死滅乃至胞子形成するものが多くなり，小孔を生じ遂に崩壊するに至る．この現象は特に周辺部に著しい．流速の速い 80 cm/sec のものでは葉面正中線の部分にかすり傷のような線条痕を生じその部分の色調うすれ細胞の死滅するものもみられる．しかし周辺部に至るにしたがって黒味勝り低速の場合のような小孔は認められない．この現象は特に一方向の水流を強く受けている円運動式による培養であるため強調されているようで，往復運動式の場合には認められず，また天然においてもこれに類似の水流である潮流を受ける場合であっても潮時ごとに方向の変動があり，また波浪による動揺も加わるからこれ程強調されることはないものと思われる．

以上の実験成績を通覧するに，ノリ生育に対する好適水流は流速 20 cm/sec 前後にあり特に生長期のものに著しく影響があらわれ，最適の範囲もせまくなるものとみられる．流速 5 cm/sec 以下においては，老幼を問わず，老廃物の除去不完全，細菌・浮游物などの附着乃至栄養分補給の不足のため生理的障害を受けるものであり，44 cm/sec 以上では葉体の捩れにより受光面減少し正常な生育を妨げられ，遂に葉面の正中線附近に細胞の死滅するものを生じるに至り，いずれもノリの生長を阻害するものである．

〔ノリ着生密度の相違による最適水流の異同〕

水流の効果が主として老廃物の排除と栄養分の補給にあるとすれば，ノリの葉体が密生しているため葉体間に排泄された老廃物の除去が充分行われず，また栄養分の補給も困難であることがあり得るわけで，その場合に適合する水流は海水の流通容易な場合とはおのづから異るものと考えられる．最適水流を探索するために行った前項の実験ではノリは長さ 5 cm の篊竹に長さ 3 cm のノリを 8 乃至 16 枚附着させたもので，ノリ葉体の間隔は約 7 乃至 3.5 mm となり葉体間の海水の流通はかなり容易に行われたものと思われる．

本項ではノリが密生している場合の水流と生育との関係を明らかにするため，一定の長さの簇竹 (3.5 cm) に附着させるノリの葉体数を違え，密生度を異にした形として流速を一定 (20cm/sec) とした実験と，密生しているとみなされる程度に簇竹にノリを附着させたもの（3.5cm の長さの簇竹に 48 枚のノリ葉体を附着）を流速の異る状態で培養した実験を行い，前者によって水流が密生度を異にしたノリの生育に及ぼす影響を，後者によって密生状態のものに対する水流の適度を知らんとした．実験 I の葉体数は 8, 48, 64, 88 枚つけたものと 8, 32, 48, 88 枚つけたものと 2 通りとしたが，ノリ葉体の間隔は平均 8 枚のもの 5 mm, 32枚のもの1.1 mm, 48枚のもの 0.74 mm, 64枚のもの 0.55 mm, 88枚のもの 0, 40 mm となる．培養装置は本実験が比較的せまい範囲の流速の変化内の実験 (20～50cm/sec) である処から，往復運動式を用いた．実験は時期を違えて 2 回ずつ行ったが，その結果は Tables 18 及び 19 に示した．

Table 18. Effect of water current at various densities of the frond attachment.
(Velocity of current : 20 cm/sec.)

Series of exp.	Number of fronds	Area of fronds			Note
		Before culture	After culture	Growth rate	
		(cm^2)	(cm^2)		
A (exp. 30, Dec. ～13, Jan.)	8	7.56	12.24	62	Healthy, color and lustre are very good.
	48	6.77	10.33	53	As the density increases, the growth condition becomes unhealthy and color tone turns abnormal.
	64	6.55	9.99	53	
	88	7.35	11.44	54	Look nearly bluish green and completely lustreless.
B (exp. 27, Jan. ～10, Feb.)	8	6.40	12.50	95	
	32	7.25	12.58	73	
	48	6.52	11.09	70	
	88	6.74	11.08	64	

Table 19. Effect of water current at high density of the frond attachment.
(48 fronds / 3.5 cm stick)

Series of exp.	Velocity (cm/sec)	Area of fronds			Note
		Before culture	After culture	Growth rate	
		(cm^2)	(cm^2)		
A (exp. 30, Dec. ～13, Jan.)	20	6.54	10.58	62	Healthy, and find no macroscopic difference each other.
	30	6.10	11.19	83	
	40	5.97	8.90	49	Color tone is good relatively.
	50	4.88	7.06	45	〃
B (exp. 27, Jan. ～10, Feb.)	20	6.00	9.06	51	
	30	6.75	12.90	91	
	40	5.25	7.53	43	
	50	7.81	10.65	36	

Table 18 についてみるに，流速 20 cm/sec では密生度 8 枚のものがひとり良好な生育を示しているのであって，その他はいずれもこれに劣るが，相互の間には著しい差異を示していない．しかし肉眼的観察によると密生度の大なるにしたがって色調が悪くなり，密生度 88 枚のものは殆んど青緑色となりノリ固有の色調は全く失われている．この状態は明らかに老廃物排除の不完全な場合乃至栄養分補給の不充分な場合に見られる現象であるが，外観

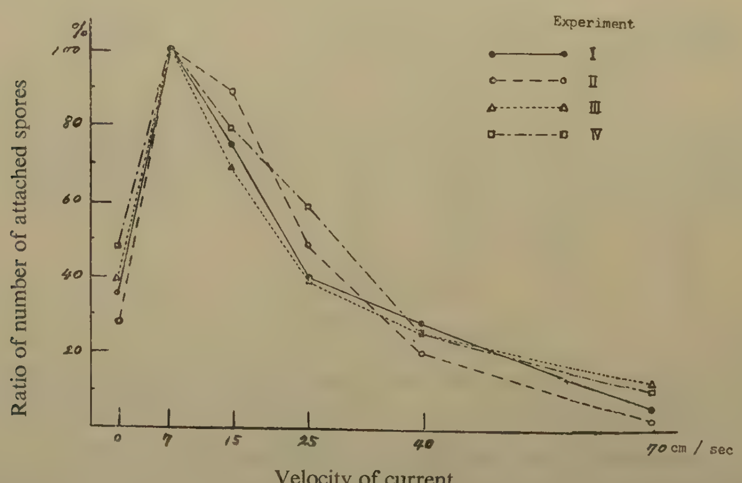
の悪化ほどには生長が阻害されていない点は甚だ興味ある事実である．前節の窒素源の肥料効果についての実験の際，窒素源が不足して色調不良のノリが窒素源の豊富なものと同様に普通の生長を示した事実ともあわせて考えると，ノリの色調と生育との関係の一端を表明しているものとして今後解明せねばならない重要な所見である．いずれにしても 3.5cm の篊に密生度 8 枚（葉体間隔約 5mm）以内でないと，この実験のような種類の水流を受ける場合には流速 20 cm/sec ですでにノリは充分正常な生育を遂げ得ないと言えよう．

次に Table 19 の成績によると，明らかに密生度の高い篊では早い水流を要することが認められる．20 cm/secと 30 cm/sec の間にノリの外観には余り大きな差異が認められないにもかかわらず面積の増加率に大差のあることから，流速の適・不適が密生度の高いものでは特に生長に大きく影響するとみなされる．即ち流速を同じくして密生度を変えた場合には密生度小なるほど生育良好であるが，密生度を同じくして流速を変えた場合にはそれぞれの密生度に応じて水流の適度が存在するものであろう．実際の養殖篊では部分的には非常に高い密生度のものがあり漁場においては一層水流の適度について留意されねばならない．

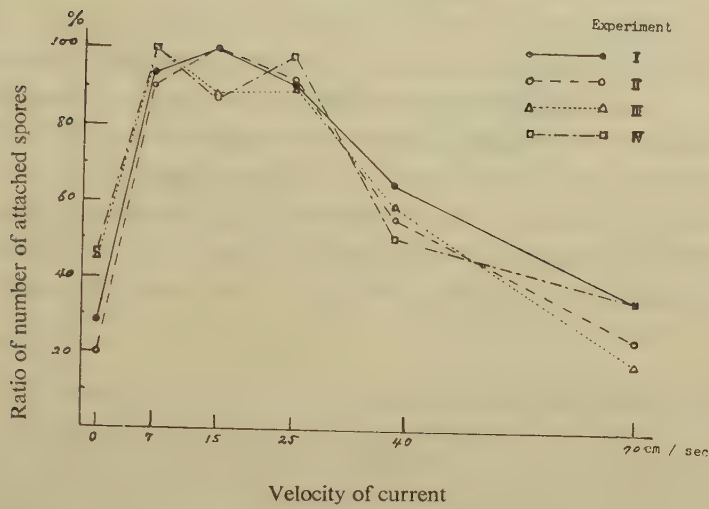
〔胞子着生期の水流について〕

ノリの生育にとって水流の適度は 20cm/sec 前後であり，特に生長期のものに著しく影響があらわれ老葉はその感じ方が鈍いようであると上に述べたが，これを更に広くみて，ノリ養殖の最初の段階，即ち篊への胞子の附着及びこれに次ぐ発芽生長の時期には水流の影響が如何にあらわれるかについて明らかにするため，次のような二種の実験を行った．

まず多量の胞子を含有する海水中に小竹篊を 6 時間所定の各種速度で浮動させた後，全部を一様に大型水槽に移し，一定の流速で 10 日間培養をつづけ，その後の芽の数によって附着時における流速と着生の関係をみた．また小竹篊を胞子濃厚海水中に 10 分間浸漬し，これをとり出し湿度 50%の密閉容器中に 30 分間放置し，ついで大型水槽中でそれぞれ異った速度で 10 日間培養し，その後の芽の数によって附着後の流速と着生の関係をみた．いずれの実験も流速は円運動によって起こす方式をとり，一対ずつ 2 回計 4 回行った．流速は



Text-fig. 7. Effect of water current on attachment of spores (at the time of attachment).



Text-fig. 8. Effect of the water current on the attachment of spores (after attachment).

0, 7, 15, 25, 40, 70 cm/sec の 6 種とし，結果はそれぞれの実験の最高の着生数を 100 とした百分率であらわしそれぞれ Text-fig. 7 及び Text-fig. 8 に示した．

Text-fig. 7 についてみるに，胞子附着時の流速は 7 cm/sec のものがいずれも最も良好であり，これより早くなるにしたがって漸減し，40 cm/sec では 7 cm/sec のものの 20% 内外に過ぎず 70 cm/sec に及ぶと殆んど着生し得ない．他方流速 0 cm/sec 即ち静止しているものは 7 cm/sec の半数以下となっている．次に附着後の流速の影響を Text-fig. 8 についてみるに，着生の良好な範囲が前者に比較し著しく拡大され 7 cm/sec から 25 cm/sec まで殆んど同数となっており，これより早くなると減少はしているが附着時の場合のように急激ではなく，40 cm/secにおいて半数以上，70 cm/sec においてさえ 30% 前後の着生数がみられる．しかし全く静止の状態にあったものは附着時のものより却って悪く，ノリは幼芽の初期においてもある程度の水流を必要とすることが明らかである．

以上の成績を綜合して，附着時には水流のないものでは水中に浮游している胞子が篊竹に接触する機会が少いため着生が悪く，海水の流動がはげしくなると胞子と篊竹の接触する機会は多くなるが，接触した胞子に生理的に着生する機能があらわれない中に，再び洗い流されるため比較的緩慢な流速が最多の着生を示し，発芽生長期になると水流のもつ生理的な意義があらわれるものと考える．しかし顕微鏡的存在である幼芽の時期に生育に対するような栄養分の供給，老廃物の排除などの意義が主なものとは考えられず，浮泥・微生物などの沈着の妨止の他刺戟的な意義があるのではないかと想像されるが，未だ推測の域を出ない．なおこの実験の範囲内ではないが，やや生長の進んだものでは水流が単胞子の放出着生に対して好影響を与えることも考えられる．いずれにしても附着時には 7 cm/sec 程度の水流を必要とし，その後の発芽生長期にはやや早い 25 cm/sec 程度までの水流が好影響あるものとみなしてよい．

(VII) 最適水流と他の環境要素との関係

前節においてノリに対する最適水流をその生長段階に応じて種々検討したが，最適水流は他の環境要素によってもある程度左右されると思われるので，水温・比重・栄養塩類などが如何に関係しているものか，前節同様培養実験的に究明を試みた．実験としては環境要素を抽出して組合せ，その個々に対して水流適度の異同をすべて網羅すべきであるが，これでは甚だ複雑多岐にわたるので，実際に起り得ると考えられるもの及び影響が特に大きいと思われるものの範囲で実験を行った．なおこの場合にも胞子の着生期と成葉の生育期とによって差異があるものと思われるが，前節にも考察したように前者は水流を必要とする機構が機械的意義深く，栄養分の補給・老廃物の排除など生理的意義が比較的うすいと思われるので，主として後者について検討することとした．

〔低比重海水中における水流と生育について〕

(I) 節においてふれたように内海のノリ養殖場には川裾に発達したもの多く，その所在理由の一つに，このような場所が一般に水流の大なる点があげられるが，このような養殖場では当然比重の低下する場合もあり得るので，その場合の最適水流は正常な海水におけるものと如何なる関係にあるか．このような際の基礎知見を得るため次の実験を行った．

海水を淡水で稀釈して比重を下げてこれを培養液として実験を行うと，一般には栄養分不足の徴候をあらわして正常な生育が続け難くなるが，河川流の注流がある場合には栄養分が供給されながら比重が下がるような形となるので，実験は硝酸ソーダ 0.01%，第一燐酸ソ

Table 20. Relation between the growth of Nori fronds and the water current of sea water at low specific gravity. (exp. 14～28, Jan., number of fronds 8)

Series of exp.		Velocity of current (cm/sec)	Area of fronds			Note
			Before culture (cm²)	After cuture (cm²)	Growth rate	
I (Sp. gr. 1.020)	A	20	7.71	16.16	110	Grown to a large size, in a harmonized form. Color light yellowish a little, lustre good.
		30	6.36	12.84	102	
		40	5.95	10.94	84	Small in size, color lost brown and add greenish.
		50	6.35	11.50	81	Tendency of the above more emphasized.
	B	20	9.14	12.61	105	
		30	6.25	12.60	102	
		40	6.80	12.54	84	
		50	6.46	11.63	80	
II (Sp. gr. 1.018)	A	20	6.33	13.23	109	Normal, color and lustre good.
		30	6.52	12.63	94	Same as above, but somewhat yellowish.
		40	6.94	12.56	85	Color and lustre worse, frond thin relatively.
		50	6.54	11.47	75	Worse than above.
	B	20	5.75	12.09	110	
		30	7.20	14.23	98	
		40	5.89	11.06	86	
		50	7.28	12.14	67	

ーダ 0.001%を加えた培養液で行った．また(II)節において考察したように，比重低下が 1.018以下になると栄養分を添加してもノリは長期にわたっては正常な生育を続け難くなるので，実験は比重 1.018 のものと 1.020 のものにとどめた．培養は往復運動式装置を用い 20, 30, 40, 50 cm/sec の流速を与えた．実験結果は Table 20 に示した．

表に現われた数値の上から比較するに，20 cm/sec が最良で それより流速の大なるにしたがって不良となっている．特にその傾向は低比重のものに著しく，比重の高低によって生理作用に相違があるものと考えられる．あるいは水流が早いと低比重の害が強くでるものではないかとも考えられる．いずれにしても川裾の漁場などで低比重となる場合にはこの点に一応留意しなければならない．

〔貧栄養海水中における水流と生育について〕

水流が栄養分補給に重要な関係を有するものとすれば，海水中の栄養分の多少によって水流の適度には相違があるものと考えられる．また栄養分の不足する海水中でノリが生育すれば，水流の強さに応じて栄養分補給の程度が異り，ノリの呈する生育状態に明瞭な変化があらわれるものと思われる，先に(V)節の培養実験の際に指摘したように，ノリ生育の適期には培養液として天然の海水そのままを使用するか，少くとも窒素源として硝酸ソーダ 0.01%を加え隔日に換水すれば，ノリは一ケ月程度の培養期間であるとほぼ正常な生育状態を維持させることができる．しかし海水（約比重 1.024）を淡水で稀釈して比重 1.018 程度まで下げると，これに食塩を加えてもとの比重にもどしても，これを使ってノリを培養すると暫時のうちに栄養分不足の徴候をあらわす．前節において最適水流を追究した実験に使用した培養液は天然の海水もしくは窒素源を加えたものであったので，栄養分の不足した場合の最適水流について知るために上に述べたような復元海水を使用して培養実験を行った．培養装置は流速の範囲を最適水流を中心とする 7 ～ 50 cm/sec の間としたので往復運動式を採用し，培養液は海水を淡水で比重 1.018 まで稀釈し，これに局方食塩を加えもとの比重にもどし，貧栄養培養液として使用した．実験は二回行い，第二回目は富栄養培養液によるも

Table 21. Effect of the water current on the growth of Nori fronds cultured in an oligotrophic sea water.

Exp. I (exp. 14～28, Feb., number of fronds 8, W. T. 10±1°C)

Series of exp.	Velocity of current (cm/sec)	Area of fronds: Before culture (cm²)	After culture (cm²)	Growth rate	Note
1	15	10.07	15.66	55	Color and lustre of 30 cm/sec is best, and 20 cm/sec next, and follows 40, 15, and 50 cm/sec is worst.
	20	8.41	13.56	61	
	30	6.64	13.05	97	
	40	7.94	12.46	57	
	50	9.00	13.67	52	
2	15	6.92	10.57	53	
	20	7.25	12.04	66	
	30	7.06	13.92	99	
	40	7.33	11.67	59	
	50	8.03	12.06	46	

Exp. II (comparison between oligo- and eutrophic sea water)

Series of exp.	Velocity of current (cm/sec)	Area of fronds Before culture (cm²)	After culture (cm²)	Growth rate	Note
A (oligotrophic sea water)	7	6.33	11.09	75	Color yellowish, somewhat lustreless.
	15	7.04	12.96	84	Frond thin a little, growth rather abnormal.
	20	7.59	14.53	91	Growth state good.
	30	7.48	14.56	94	Growth state very good. lustrous.
	40	6.46	11.02	71	Color and lustre good.
	50	6.76	10.73	59	Growth state worse than above.
B (eutrophic sea water)	7	6.38	12.13	90	Color more brownish, lustrous, as compared with those of series A.
	15	6.75	14.48	115	Growth state good.
	20	5.91	12.94	119	Grown up most proportionally of the whole.
	30	5.63	11.67	107	Good growth.
	40	7.03	12.99	85	Color tone good, but break out porus fissures in part of fronds.
	50	6.51	11.50	77	Tendency of the above more intense.

のと比較したが，この場合には海水に硝酸ソーダ 0.01%，燐酸ソーダ 0.001% を加えたものを富栄養海水とした．実験結果は Table 21 に示した通りである．

表によってみるに，実験 I, II いずれの成績においても貧栄養海水中で培養したものは流速 30cm/sec のものが最高の面積増加率を示し，外観も最も優れており生育状態良好であった．その最適をはなれた場合の面積増加率低下の状態は明らかに貧栄養海水のものでは鋭くあらわれており，ノリにとって海水の栄養分が不充分の場合にはその補給のために水流が強く要求されるので，水流の適否により生育の良不良の差が比較的鋭敏にあらわれるものではないかと思われる．数値であらわせば，水流の適度は 15～30cm/sec の範囲内にあって，海水中の栄養分が充分であれば 20 cm/sec の前後，貧栄養海水では栄養分補給上，より以上の流速を要し，30cm/sec 附近に最適度が移るものと言えよう．勿論栄養分補給の上から言えば流速は早ければ早いほど良いはずであるが，早過ぎると物理的な障害を生じ，おのづから最適の限度がきまるものと思われる．

〔富栄養海水中における水流と生育について〕

前項実験において貧栄養海水中に培養した場合の水流と生育の関係を明らかにし，その中で富栄養海水中における場合と対比するため海水に 0.01% 硝酸ソーダ，0.001% 燐酸ソーダを加え，これを富栄養海水とみなして比較したが，更に一歩を進めてより以上富栄養海水にした場合の水流と生育の関係について究明してみた．即ち富栄養海水として 0.01% 硝酸ソーダを添加するものの他，0.1% 添加したもの及び腐熟屎尿の濾過液を加えて同様の実験を行った．硝酸ソーダ 0.1% のものを加えた理由は（V）節の培養において，硝酸ソーダ 0.1 %添加のものが 0.01%添加のものよりやや良好との成績を得ているので，その傾向が水流との関係に如何にあらわれるかを見るためである．また腐熟屎尿を用いた理由は，別に行った実験によると，このものの添加はノリの栄養分欠乏を補って生長を助長するのみでなく，その呈する色調も非常に優良で，ノリ固有の黒紫色をもった状態を維持することができ，ノリ

に対しある程度完全な栄養分補給をしているのではないかと考えたからである．腐熟屎尿中の如何なる成分がこの作用をしているか不明であるが，他の栄養塩類の添加によってはこの程度の効果の発現は困難であるので，未知の要素を含むが富栄養海水作成の添加栄養源として加えた．

培養装置は円運動式を採用したが，その他の培養方法は常法に従った．なお腐熟屎尿は農家にて腐熟させているものを 2 倍に稀釈し，よく混和攪拌して煮熟後脱脂綿で濾過しこれを原液とした．実験に用いた富栄養海水はこの原液を 0.1% 加えて作成する．その一般分析値は Table 22 附表として示した．培養実験の結果は Table 22 の通りである．

Table 22. Effect of the water current on the growth of Nori fronds cultured in an eutrophic sea water. (exp. 16～30, Mar., W. T. 10～12°C)

Series of exp.	Velocity of current (cm/sec)	Area of fronds			Note
		Before culture	After culture	Growth rate	
		(cm^2)	(cm^2)		
A (added 0.1% $NaNO_3$)	0	7.53	12.04	60	Color and lustre good, but inferior to those of C.
	5	6.00	12.11	102	
	16	7.78	17.93	130	
	26	6.82	14.55	113	
B (added 0.01% $NaNO_3$)	0	5.16	8.52	65	Nearly same as the above.
	5	6.49	12.86	98	
	16	5.03	11.25	124	
	26	5.51	12.01	118	
C (added 0.1% faeces and urine)	0	5.18	10.23	97	Keep always the proper color of Nori-frond.
	5	6.61	16.24	149	
	16	5.75	14.90	159	
	26	7.12	18.14	155	
D Control (only sea water)	0	5.92	8.56	45	Color tone worse, so-called 'brass-colored.'
	5	7.31	12.07	65	
	16	8.56	18.22	114	
	26	6.09	14.29	135	

Additional table : Constituents of the completely decomposed faeces and urine.

NH_3-N	0.225%
NO_2-N	trace
NO_3-N	0.065%
Prot.-N	trace
K	0.440%
P	0.136%

面積増加率の大小を検討するに，前項実験成績にあらわれた処と甚だよく照応している．即ち富栄養海水中では水流の影響は概して鈍く現われ，比較的遅い流速であってもそれほど著しく生育を阻害されるものではない．しかし 0 cm/sec ではかなり生長が鈍くなっておりその影響は明らかであるが，培養装置の機構上完全な停滞水とはなし得ないから，完全に停滞している場合には更に甚だしい阻害をうけるものであろう．水流が遅いために生長を阻害される程度は栄養の豊富なものほど鈍く，屎尿添加のものでは 5cm/sec でも殆んど面積増加率は落ちないが，同じく栄養源を添加したものであっても，硝酸ソーダでは流速に応じてやや生長が低下する．しかし 0.1% と 0.01% の添加量の差はそれほど明瞭にはあらわれてい

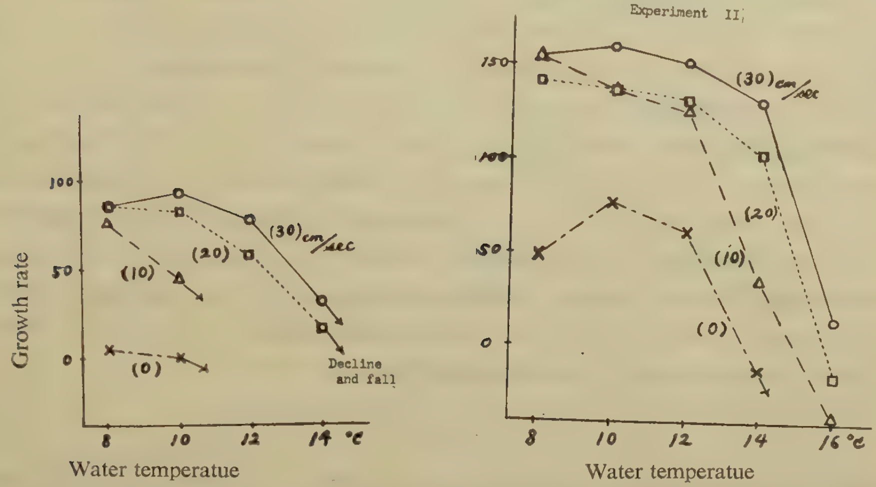
ない．無添加のものでは水流の遅速による面積増加率の増減が最も著しく，流速の大きいものほど良好であって，前述の貧栄養海水における場合と同様の傾向である．無添加のものが色調劣悪にもかかわらず，その最高の生長率を示す 26cm/sec においては硝酸ソーダ添加のものと遜色のない数値を示している事実は，(V)節において異常生長ともみなされる現象と指摘した場合と同じく，ノリは色調の褪色したような状態でも，また海水中に含まれている栄養源がそれほど豊富でなくとも，その栄養源と色調に適合する水流が与えられれば，生長のみは充分なしとげるものであると思われる．而して単なる窒素源のみの補給ではこれ以上の生長は期しがたいが屎尿の添加は色調を回復しなおよく生長をも助長するものではないかと考える．これが真因はノリのもつ色素と同化作用の関係及び必要栄養素のすべてを明らかにしてはじめて解明できるものであって今後の究明にまたざるを得ない．

〔水温による水流の生育に及ぼす影響の異同について〕

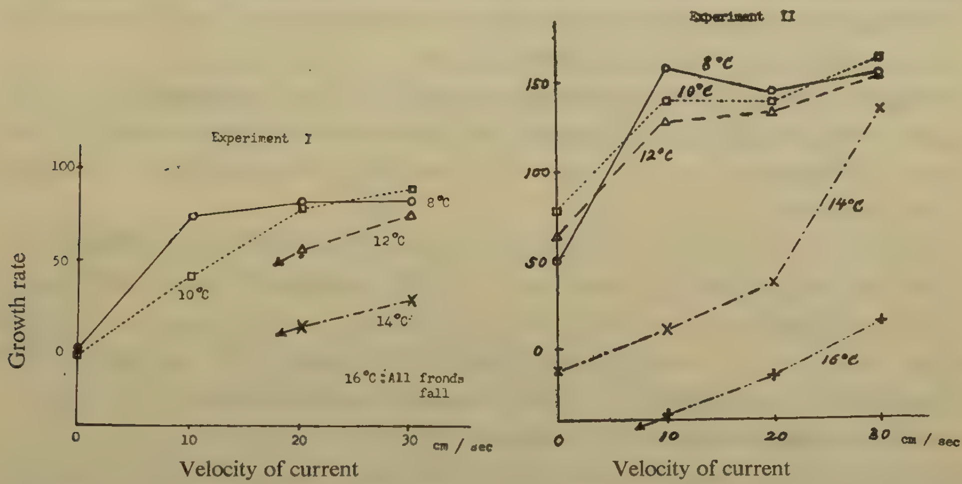
(IV)節にノリの生育にとって好適な水温は 10°C 前後であるが，老幼によって相違があり，幼葉では 11～13°C，老葉では 6～8°C であり，水温の変化によって受ける影響は老葉の方が僅少，高温に対する抵抗は幼葉の方が大で，老葉では 13～15°C で既に衰減に瀕するも，幼葉では 18～20°C にてなおよく生育を維持することを考察した．ノリの生育にとってこのような好適水温の限界を認められるが，水流の適度についても更に水温によって影響されて異同を示すものと思われる．何故ならば水温のノリの生育に及ぼす影響は明らかにノリの営む代謝作用に対する影響であり，水流の影響も栄養分の補給・老廃物の除去を主な作用とするものであって同じく代謝作用に関与するものであるから，これら両者は互いに関連してノリの生育に影響するものと思われる．しかも前項に述べたように水流は栄養塩類と関連をもつものであるから，ここに水温と水流との関係を探究するにあたっても，同時に栄養塩類との関連も考察の中にいれなければならないので，次のような実験を行った．

培養装置及び操作は前項実験と同様として，流速を 0, 10, 20, 30cm/sec の 4 種，水温を 8, 10, 12, 14, 16°C の 5 種に設定し，これら各々の天然海水のみの場合及び 0.1% 腐熟屎尿添加の場合についてノリの生育状態を調べた．実験結果を水温と面積増加率の関係に図示して水流別にあらわしたものが Text-fig. 9，水流と面積増加率の関係に書き改めて水温別にしてあらわしたものが Text-fig. 10 である．

まず Text-fig. 9 により海水のみの場合について水流の影響をみるに，水温の低い時には水流の要求度少く，10cm/sec 以上の流速があれば大差なく生長するが，水温が上昇するにしたがって速い水流を必要とする状況が明らかである．而して如何に水流を強めても 16°C ではも早や約 2 週間の生育にも耐えられないものである．しかるにこれを富栄養の場合についてみるに，水温の高いほど水流を必要とする点では同様の傾向を示しているが，10°C 以下のノリ生育適温とみなされる低温では殆んど流速による差異を示さない．また 16°C の高温であってもある程度に水流の強さがあれば，海水のみの場合ほど急激には衰滅しない．しかし全く水流のない停滞水では，たとえ富栄養で低温であっても著しく生長が鈍るものである．この関係を見方を変えて，Text-fig. 10 により同じ水温における流速が生長に及ぼした影響としてみると一層明瞭である．8° 乃至 10°C で富栄養の場合には流速 10cm/sec 以上であれば，殆んど生育上の差異を示さないが，海水のみでは 10cm/sec においてすでに充分の生長を遂げ得ない徴候をあらわし，20cm/sec 以上において，はじめて生



Text-fig. 9. Effect of the current and temperature of cultural medium on the growth of Nori-fronds. Exp. I Oligotophic medium ; Exp. II Eutrophic medium.



Text-fig. 10. Effect of the current and temperature of cultural medium on the growth of Nori-fronds. Exp. I Oligotrophic medium ; Exp. II Eutrophic medium

育上の差異を示さないものとなる．

これらの成績から推測すると，当然のことではあるが，水温が上昇するにしたがってノリ体内の代謝作用が進み，栄養分の要求が高まり，その補給に強い水流を必要とするものと考えられる．海水中から代謝作用に要する栄養分が充分供給できれば，水流は老廃物の除去に要する最低限の程度の遅いもので良くなるものであろう．その限度は現在までの実験の範囲では普通の海水で 10cm/sec の程度とみなされる．ただここに注意すべきは，上の考え方からすれば，栄養分が豊富であって水温が高ければそれだけ代謝が進み生長が促進されるから，これに強い水流が加われば生長は何処までも助長されると考えられるが，水温にもおの

づから限度があり，ある範囲内の水温における生育は一定の調和をもって営まれているものと考えられる．即ち低温であってもそれに適応するだけの栄養分が海水中の含有量と水流の適度とによって供給されれば，ノリは正常な生育を遂げ充分な生長を示すものであろう．これがノリの生育適温として示されるべきものである．即ちノリの生育にとって，水温と海水中の栄養分と水流とが調和の保たれていることが必要で，この中のいずれかに高低・大小・過不足を生じれば，それに応じて他の要素も加減され調和が保たれなければならないものと考える．なお上に述べたようにノリの生育は代謝の結果であるから，以上三要素に加うるに同化作用に直接関与する光との関連をも無視することはできない．これについては他の要素ほど人為的に選択の自由をもつ漁場構成の要素とは言えないが，養殖技術の面からみると光量の加減は人為的に可能であり，この要素の知見も水流のノリ生育に及ぼす影響を理解する上には無関係でないから，次に節を改めて考察をほどこす．

(VIII) 光とノリの生育について

ノリの生育は同化作用の結果招来されるものであるから，その直接のエネルギー供給源である光がノリの生育と深い関係を持つことは当然であるが，特にその色調の現出には大きな影響を及ぼすもので，ノリの生育状態を考察するには常に念頭においておく必要がある．よって直接水流その他の環境との関連において行った実験ではないが，光とノリの生育との関係をみた実験 2, 3 をここにかかげて考察を試みる．

従来藻類の生理と光に関する研究は実験が比較的容易なことから単細胞藻類について，また海藻が特殊の色素を有し，水中で吸収された日光のある特定の波長のもとに生活している処から，学術的興味をもたれて行われているものが多いが，ノリの生育と光について行われた研究の報告は殆んど見あたらない．

最近岩崎[46]・木下[44]・敦賀[43]などの人々によって種々の角度から断片的な報告が行われているが，光の質及び量について系統的にノリの生育との関連を究明したものは古く富士川[23), 24)]によって朝鮮において行われたものがあるに過ぎない．その報文によるとノリの培養実験に際し日光のスペクトルの中，赤色部及び黄色部の光線は面積増加率・重量増加率・窒素固定率のいずれにおいても普通の日光と遜色なく，緑色部及び青色部に比して著しく優れるとしている．而して面積の増加においては黄色光線を受けたものが特に著しいが，その色調は赤味黄味を欠き黒味を帯びた緑色となり，赤色の光線を受けたものは赤味を欠き殆んど青色に近く，緑色部のものは青色に僅かに赤味を混え，青色部のものは全く青味を欠きただ赤色素のみを認められるものとなるという．また光線の量が生育に及ぼす影響は，墨色を異にしたガラスを通して光線量を変えて培養した処によると，ノリ養殖の初期においては光線の強い方が生育良好であるが，強い程良いわけではなく，遮光して少し弱められた光線が有効で，この傾向は時期の推移にしたがって明瞭となり，生長の盛んな点は漸次墨色の濃い方に移るものであるという．その色調も照射量と関係があり，時期の終りの葉体の黄色化は光量を少くすることによりある程度防止出来るとしている．これに関し岩崎らによると発芽後 2 週間位の幼芽では光源として天然光が優れ，直射でない天然光のもとではノリの光合成は光の強い方が良さそうであり，温度と光週期を適度にすれば，培養には 25,000Lx までは明るい方が良いとしている．而して電灯光では一日 9 時間の照明で生長よく健全であるが，螢光灯では 9～12 日間の培養で，すでに色素体消失し葉体がくずれ始めるという．

また木下らによると $1cm^2$ に切った12月のノリの葉片を昼光色螢光灯を使用し，13°～15°C にて10日間の振盪培養をした結果では 6,000Lx の光のもとで最高の生長を示すという．しかしこれは細胞分裂が 10,000～6,000Lx の間では光の強さの低下に伴って旺盛となり，6,000～1,000Lx の間では光の強さにかかわりなく旺盛であり，また各細胞の大さが光の強さの低下にともなって小となるためであるとしている．なお色調は 2,000Lx 以下では濃い黒褐色を呈し，光の強さの増大にともなって黒味が順次淡くなると共に赤味を増し，8,000Lx 以上では全体の色調が次第に淡くなるという．以上三者の成績には一致した部分もあるが，かなり相違した点も多い．その理由は本報文中にもしばしばふれているように，ノリは生育時期によって環境に対する好適条件が相違し，またかなり適応性もひろく，いろいろの環境条件が互に関連して影響を及ぼし，それによって性状も変るものであるから，これらの試験もその行われた際の培養条件を考慮にいれて考察をほどこし，また実験の企画にあたっても，それだけの準備が必要であって，更に数多くの研究成果が累積されなければ普遍性のある判断は下されないものと考える．いずれにしてもこのように光の質・量ともにノリの生育にとって著しい影響を及ぼし，特に色調に大きな変化をもたらせるものである．光線の質及び量の変化は実際のノリの養殖中にも大小の差はあるが常にみられる処で，時期の推移による日射量の変移・海水の混濁による光量の差・晴曇による光線の強弱などがあげられ，特に比較的潮汐干満の差のはげしい瀬戸内海の固定篊のようにある程度沈潜される場合には，光の量並びに質の変化の影響をかなり受けるものと思われる．ここにかかげる実験はこれらの事象解明の一助として前記富士川の報文にある処を一歩進め人工の一定光線下における光量の差とノリの生育の関係を追究した実験及び異る水層下におけるノリの生育状態について攻究した実験である．

〔人工光線による光量とノリの生育との関係〕

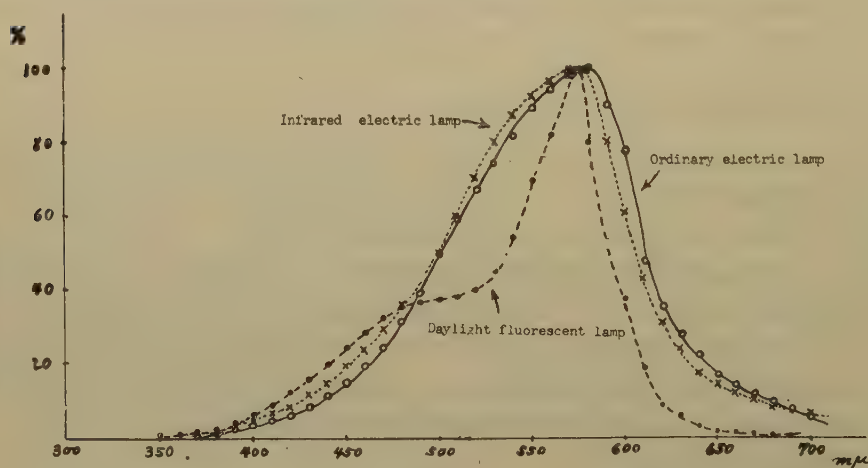
光量のノリの生育に及ぼす影響については，上にも述べたように，富士川によれば決して光線は強ければ強いほど良いというものではないとされているので，その強さを明らかにするため照度の明確な人工光線のもとにおいて培養実験を行った．

実験はまず光源の種類と光線照射時間の影響を吟味し，その結果光源としては赤外電灯と螢光灯の混合照射が適当とみとめ，光線照射時間は全日照射ではやや生理障害があるように思われたので，赤外電灯と螢光灯の混合照射を1日10乃至15時間行って，照度 3,000Lx まで及び 10,000Lx までの二種の実験を実施した．実験結果はそれぞれ光源の種類（Table 23）・光線照射時間（Table 24）・照度の相違（Table 25 実験 I 及び II）とノリの生育の関係として各別に表に示した．

まず光源の相違のノリ生育に及ぼす影響をみるに（Table 23），同じ照度では普通電灯にて照射したもの最も優れ，赤外電灯のものこれに次ぎ，螢光灯は甚しく劣っている．螢光灯の不良なる点は岩崎ら[44]の幼芽による実験の結果と同様である．因みにこれら光源の吸収係数を波長 10mμ ごとに測定し図示すると Text-fig. 11 のようになるが，これによってみると普通電灯といわゆる赤外電灯とは殆んど差がなく，500～600mμ の辺では後者の方が却って前者よりやや短い方へずれており，強いて言えば 700mμ 以上で赤外電灯の傾斜が僅かに鈍ってくる程度である．これに対し螢光灯では曲線が急勾配となり 550～600mμ において鋭くなっている．このような光線の質の差が上記の生育の相違としてあらわれたもの

Table 23. Effect of the kind of light source on the growth of Nori-frond.
(Duration of irradiation 10 hrs., exp. 8～23, Dec., W. T. 10°C)

Kind of light	Culture medium	Area of fronds			Note
		Before culture	After culture	Growth rate	
		(cm²)	(cm²)		
Fluorescent lamp (3,000 Lx)	Sea water only	9.62	12.69	32	Fronds brownish; thin; abnormal
	Sea water + 0.01% $NaNO_3$	9.20	12.70	38	Brown, somewhat bluish
Ordinary electric lamp (3,000 Lx)	Sea water only	8.82	17.55	99	Nearly normal
	Sea water + 0.01% $NaNO_3$	8.65	19.80	129	Rather better than above
Infrared electric lamp (3,000 Lx)	Sea water only	8.77	15.09	72	Nearly normal; faintly reddish
	Sea water + 0.01% $NaNO_3$	8.93	15.50	74	Nearly normal; faintly reddish
Fluorescent lamp +Infrared electric lamp (5,000 Lx)	Sea water only	10.33	24.88	141	Normal; margin of frond somewhat reddish
	Sea water + 0.01% $NaNO_3$	9.55	24.99	162	Normal



Text-fig. 11. Nature of each light source.

ではないかと思われ興味深い．0.01% 硝酸ソーダ添加のものが海水のみのものよりいずれも良好な生育状態にあることは，この培養海水は窒素分が不充分であったものと思われる．赤外電灯と螢光灯を混合照射したものは照度 5,000Lx にあがっている相違はあるが，生育最も良好で光線の質が適当であったものと思われる．

次に一日の照射時間の影響をみるに（Table 24）全日照射のものが明らかによく，12 時

Table 24. Effect of the duration of irradiation on the growth of Nori-frond.
(Use: fluorescent lamp 3,000 Lx, exp. 15～30, Dec., W. T. 10°C)

Dur. of irrad.	Area of fronds			Note
	Before culture	After culture	Growth rate	
(hrs)	(cm²)	(cm²)		
24	11.67	42.87	239	Buff, rather reddish
15	14.20	46.24	226	Buff
12	8.28	20.77	124	Moderately blackish
9	9.35	17.01	77	Appear blackish
6	13.81	20.23	50	Brownish
3	12.41	17.85	44	Rather yellowish

間以下になると時間の短縮に応じて甚だしく生育が鈍っている．岩崎らは前にも記したように幼芽期の培養実験と光合成活力の測定の結果，一日 8～9 時間の照射を適当としているが，本実験においても全日照射の数値と 15 時間照射のものがかなり接近している点，及び肉眼観察によると 15 時間のものではノリ本来の黒味がややうすれはじめている点からみて，実験の条件を変えれば（例えば水温を高くするとか，光を強くするとか，培養期間を長くする）同様の数値を得られるのではないかと思われる．富士川[23]によるとノリは常に旺盛な成長（特に同化作用）を続けさせると生理的調和がやぶれ早く衰滅するもので，これが調整に露出の意義があるのではないかとしているが，岩崎らの一定週期の暗条件が必要であるとする見解とは同様の理由によるものではないかと考えられる．これについては今後の究明によらねば明言はできないが，いずれにしても一日の照射時間を余り長くすることには生理的障害のおそれがあるので，次の照度の実験には弱いものでは 1 日 15 時間，強いもので

Table 25. Effect of the intensity of light on the growth of Nori-fronds.
Exp.I (Use: fluorescent lamp, dur. of irrad. 10 hrs., exp. 22, Jan.～8, Feb., W.T. 10±1°c)

Intensity of light	Area of fronds			Note
	Before culture	After culture	Growth rate	
(Lx)	(cm²)	(cm²)		
3,000	12.00	29.74	148	Bluish
2,000	9.35	21.64	132	
1,500	8.59	15.04	75	Somewhat blackish
1,000	11.09	15.35	38	
500	11.53	12.89	12	

Exp. II (use fluorescent and infrared lamp, dur. of irrad. 10 hrs., exp. 17, Jan.～2, Feb., W. T. 10±1°c)

Intensity of light	Area of dronds			Note
	Before culture	After culture	Growth rate	
(Lx)	(cm²)	(cm²)		
10,000	6.68	17.40	261	Reddish; frond thin
7,500	9.10	17.47	190	Somewhat reddish
5,000	7.26	12.63	174	
3,000	10.04	14.91	149	Normal

は1日10時間の照射とした.

さて照度の相違による生育の差異をみるに（Table 25 実験 I, II），3,000Lx までのものもまたそれをこえて 10,000Lx までのものも，いずれも照度の強くなる程生長は良好となっている．この点温度と光週期が適当であれば 25,000Lx までは明るいほどよいとしている岩崎らの結果と同様である．しかし肉眼観察によると 10,000Lx のものは色調黄色味をおび，やや生育状態が不良に傾いているので，一日の照射時間を長くするとかまたは長く培養を続ければ光の強すぎる害があらわれるものではないかと思われる．本実験では培養温度が比較的低いことも益して生長の面では 10,000Lx までは明るいほど良いという結果になったようである．木下らによると 6,000Lx のものが最高の成長率を示したというが，その実験では螢光灯を用い 13～15°C で行ったもので，光源・水温・照射時間の点で最良の条件であったとは認められず，富士川の実験では時期の推移につれ墨色の濃いガラス板で光線を遮断したものが優れているとしているが，その照度は数値的に明示されていない．しかし今回の結果並びにこれら報告された成績からみて，ノリ生育の最適照度は，ノリの生育段階及び他の環境要素特に水温・海水中の栄養分などの他光の種類・照射方法も関連し，要するにその時のノリの示す生理状態に応じてかなり幅広く，しかもその状態及び条件に対しては鋭敏に異同を示すものではないかと考える．次に述べる深さによるノリの生育の相違の実験はこれを実証する一例とも言えよう．

〔異る水深におけるノリの生育について〕

ノリの生育と光との関係は，一般の紅藻類に比べ比較的多量の光を必要とするもののようで甚だ興味が深い．しかし上にも考察したように光の量は決して多ければ多いほど良いというものではなく，ある限度を越えると却って生育に支障を来たし，色調など生育状態が全般的に悪くなってくる．この現象は実際の養殖上にも経験する処で，時期が遅れてくると覆をして日光を遮断したものの色調が良くなり，また瀬戸内海のように比較的海水が混濁して干満差が大きい処では満潮時水中に潜没する固定篊の方が表面に浮游する浮動篊より色調その他生育に良好な状態を示すことがある．しかしこれらは経験的に観察するのみで，外観からは明らかに色調は良くなるが生長そのものも良好であるか，また生長も明らかに良好となるがそれは一時的で生理的には変調を示すものではないか，など不明の点も多い．よってこれが解明の手がかりとして，また水面下にあって深さにより光との関係が量・質ともに異る状態にあるノリの実態を明らかにするため，次のような一定の水深下のノリの生育についての一連の実験を行った．

実験方法は縦約 3m・横約 2m・深さ約 2.5m のコンクリート製水槽に海水をみたし，この中に 5L 容無色ガラス壜に 3L の海水（予め脱脂綿で濾過し 0.01% $NaNO_3$ を添加）を入れ，水面及び水面下 0.5m, 1.0m, 2.0m の深さに吊り下げ，この壜中にノリを培養する．而してこのガラス壜には長短2本のガラス管をつけた栓をほどこし，これによって培養海水中に空気を吹込み試料ノリにたえず適当な動揺を与える．供試ノリは肉眼で一様に活力の旺盛と見えるものをえらび，これを綿糸で小竹篊に結びつけ，重錘及び浮子で培養液の中間部に浮游するようにする．培養液は3日毎に取りかえ，露出は行わない．なお培養壜の配列には，水槽壁の陰影の影響のないよう配慮した．このようにして10日乃至40日間順次取りかえて培養したノリについて常法のように培養前後の面積を測定し，色調を標準品と比色して

生育状態を比較した．実験は二回行ったが，二回目は順次行う培養の前後のものを同時に塲中にあるようにし，なるべくノリの個体的生理状態の相違の影響を除くよう心がけた．
実験 I, II として各別に結果を考察する．

Table 26. Relation of the depth of water and the growth of Nori-frond. 〔Exp.I〕

Series of exp.	Duration of exp.	Depth of water	Area of fronds			Color tone				W. T.
			Before culture	After culture	Growth rate	Black-ish	Red-dish	Bluish	Yellow-ish	(average)
		(m)	(cm²)	(cm²)	(per day)					
1	30, Dec.	0	17.17	31.67	3.84	60	35	30	60	Surface
	～	0.5	15.59	26.22	3.10	65	35	40	50	4.6°C
	21, Jan.	1.0	14.22	21.67	2.38	80	30	50	25	
		2.0	16.17	23.60	2.09	90	20	70	0	Bottom
	(22 days)			Befroe culture		90	60	40	0	5.5°C
2	11, Jan.	0	11.89	41.00	9.79	60	20	25	65	Surface
	～	0.5	9.47	29.76	8.57	60	20	30	50	4.2°C
	5, Feb.	1.0	11.69	35.53	8.16	75	25	40	50	
		2.0	11.37	29.68	6.44	90	10	95	0	Bottom
	(25 days)			Before culture		80	30	45	35	4.9°C
3	5, Feb.	0	10.70	32.22	5.44	40	15	20	80	Surface
	～	1.0	9.17	30.20	6.20	50	20	30	60	7.1°C
	13, Mar.	2.0	11.46	36.38	5.88	90	5	95	0	Bottom
	(37 days)			Before culture		80	30	40	35	8.0°C
4	13, Mar,	0	4.23	10.17	4.26	25	15	5	90	Surface
	～	1.0	3.89	9.62	4.46	35	20	30	80	9.5°C
	15, Apr.	2.0	3.93	12.80	6.84	90	5	95	0	Bottom
	(33 days)			Before culture		80	30	40	35	10.2°C
5	15, Apr.	0	4.02	5.74	1.65	10	15	5	90	Surface
	～	1.0	4.88	12.34	5.88	20	15	30	80	12.8°C
	11, May	2.0	5.15	14.30	6.83	90	5	95	0	Bottom
	(26 days)			Before culture		80	30	40	35	13.2°C

（水深とノリの生育：実験 I）

実験 I の成績は Table 26 に示したが，第 1 回目培養（12 月 30 日～ 1 月 21日）の結果では水面においたものが最も旺盛な生長を示し，それより水深の深くなればなるほど生長率は低下する．即ち水面下にノリをおくことはその生育にとって不適当であることを示している．なお色調の変化も顕著であって水面培養のものは培養中次第に黒味・赤味・青味を減じ，ただ黄色のみが著しく認められるようになるが，深度を増すにしたがってその黄味は減じ，これに代って青味を帯び赤味も水面のものより少くなるのでノリは異様な暗青緑色となる．この色調の変化は光が水中を透過したため各ノリの受ける光の質並びに量が異るによるものと考えられる．この変化の様相から推測すると，水深の深くなるにともなってノリ葉体内における葉緑素の生成多く，水面近くのものは却って培養前より減少するものではないかと思われる．

次に第 2 回培養（1 月11日～ 2 月 5 日）の結果をみるに前回と異る点は各試料とも生長が一様に旺盛な状態を示したことである．しかし各の生長率の順位を比較してみるに，最も生長の旺盛なものはやはり水面のものでそれより水深を増すにしたがって生長が鈍く，その傾向は前回と全く同様である．前回より全般的に生長が旺盛であったのは供試ノリの性状

によるものか，光がこの時期に好適であるためか，おそらくそれらの綜合した現われであろうと思われる．水温も影響するはずであるが記録にもあるようにこれらの間には大差がなかった．いずれにしても水深の生育に及ぼした影響という点では前回と同様であったとみなしてよい．この時期にはノリの生長には水面が最も適当で水面以下に沈めることはそれだけ環境が不適当となったものと言える．なお培養後の色調も前回と同様で，この現象の偶然でなかったことを確認することができる．

第3回目（2月5日～3月13日）の成績によると生長率は前回よりやや低下し第一回との中間の値を示している．而して各試料間の生長率を比較するに前二回と異る興味ある現象が見出される．即ち前2回の培養では生長の最も旺盛を示したものは水面のものであったが，今回のものでは水面のものが最下位で水深 1m のものが第一位を示している．各の間の数値の差が小さいのでこの順位は不確実とも言えるが，前2回の成績に比べ水深による差が小さくなったことが既に特異であり，何らかの意味のある現象と考えられる．更に進んで第4回目に現われた傾向を見れば，この第3回目の現象は決して無意味に現われたものでなかったことが認められよう．

第4回目（3月13日～4月15日）の各生長率の順位を比較するに第1回・第2回とは全く逆転して，2m 下のものが著しく他を凌駕している．これらの成績からみると，2月乃至3月の環境条件としては既に水面は水面下 1m 或は 2m よりノリの生育にとって不適当なある種の因子を含んでいると想像しなければならない．それが何であるか，考えられるものは水温・光その他未知要素であるが，未知要素については論ずるを得ないから水温と光について考察してみる．水温については，第三回目の培養が 7～8°C 第4回目が 10°C 前後であって，ノリ生育の好適温度の範囲内であったとみなされる．若し同一培養の上層と下層にこの程度の水温の差があれば上・下層のノリの生育に差を生じることも考え及ばれるが，上層と下層との温度差は 1°C 以内でありこれが大きく影響したとは考えられない．このように考えると，上記の結果を導いた要因は時期によって水深の違いがノリの生育に及ぼす影響に差があったためとする以外には考えられない．而して時期によって水深が示す変移は照射日光の違いで，これに水温の変動が加味されるものであろうと考えられる．この推論は第5回目（4月15日～5月11日）の培養成績をみれば更に明瞭となる．即ち水面のものは著しく生長が不良となるにもかかわらず水面下のものではなお旺盛で，水深によってノリの生育の時期による違いが甚だ顕著なることを認めざるを得ない．

なお色調の変化は，時期の推移とともに水面のものでは黒味・青味を減じ黄味を帯びるがこの傾向は時期の遅れるにしたがいますます著しくなり，第5回目の試料では殆んど黄色近いいわゆる真鍮色のノリとなる．1m 下のものは水面のものほど甚しくはないがやはり次に第に黄味をおびてくる．これに対し 2m 下のものでは第5回目のものでも黒味・青味を保有し，第1回目試料の色調として指摘した異様な暗青緑色の色調を残している．而してどちらかと言えば時期の終りには水面のものより，深い処のノリの色調の方がノリ本来の黒紫色（製品として）に近いものとなる，

（水深とノリの生育：実験 II）

実験IIの結果は Table 27 及び Table 28 に示した．ただし Table 28 は培養中共存したノリの生長率を平均した数字で，これによればたとえ供試ノリの個体的生理状態に相違があっても，著しく緩和されて現われてくるはずである．

本実験の趣旨ができるだけ共試ノリの個体的な性状の入りこまない数値を得ることを目的とするものであるから，以下主として Table 28 によって考察する．

第 1 回と第 2 回の平均生長率をみるに最大は水面のもので，1m 下・2m 下と深度を増すにしたがって低下している．この傾向は実験 I の結果と同様である．次に第 2 回の培養を中心とし，ある期間これを共存させて培養した第 1 回・第 3 回の生長率の三者を平均した数値（便宜上これを第 2 回目培養の生長率とよぶ，以下これにならう）をみるに，前回のものとよく似ておりその順位も水面・1m 下・2m 下となっている．而して生長率におけるこの順位は第 7 回目まで異ることなく，ただその数値が変動しているに過ぎない．即ち初回（12月30日～1月29日）から第 4 回目（2月2日～2月17日）までは 1m 下及び 2m 下のものの生長率が次第に低下してきているに反し，水面においては第 2 回目の成績を除き漸増の経過を示している．それより以後第 5 回（2月9日～2月24日）・第 6 回（2月17日～3月9日）は各水深のものとも一様に生長が盛んになっており，生長率増大の割合もおよそ似ているが，第 6 回と第 7 回の生長率を比較するとそれ以前とはやや異った傾向を見出す．即ち第 7 回培養（2月24日～3月19日）の水面のものの生長率は前回に比し約 2/3 に激減しているに反し，1m 下のものの示した生長率の低下はきわめて僅

Table 27. Relation of the depth of water and the growth of Nori-frond. [Exp. II]

Series of exp.	Duration of exp.	Depth of water	Area of fronds: Before culture	Area of fronds: After culture	Growth rate	W.T. (average)
		(m)	(cm²)	(cm²)	(per day)	
1	30, Dec.～ 29, Jan. (30 days)	0	31.1	58.8	2.98	Surface 11.2°C
		1	33.9	62.0	2.75	
		2	35.4	62.6	2.56	Bottom 10.9°C
2	23, Jan.～ 2, Feb. (10 days)	0	66.1	106.8	6.15	Surface 9.6°C
		1	62.6	94.2	5.04	
		2	55.5	71.0	2.78	Bottom 9.6°C
3	29, Jan. ～ 9, Feb. (11 days)	0	29.2	42.9	4.28	Surface 10.1°C
		1	32.7	45.1	3.47	
		2	32.5	40.7	2.30	Bottom 10.0°C
4	2, Feb.～ 17, Feb. (15 days)	0	67.0	101.6	3.44	Surface 8.5°C
		1	60.2	82.0	2.42	
		2	46.2	56.9	1.54	Bottom 8.2°C
5	9, Feb.～ 24, Feb. (15 days)	0	35.3	82.0	8.85	Surface 7.4°C
		1	42.1	68.9	4.24	
		2	48.1	57.3	1.27	Bottom 7.1°C
6	17, Feb.～ 9, Mar. (20 days)	0	61.5	124.3	5.10	Surface 7.9°C
		1	47.2	91.5	4.70	
		2	59.3	99.2	3.36	Bottom 7.7°C
7	24, Feb.～ 19, Mar. (23 days)	0	95.4	190.2	4.32	Surface 10.0°C
		1	85.8	152.1	3.36	
		2	96.4	158.4	2.80	Bottom 9.7°C
8	9, Mar.～ 7, Apr. (29 days)	0	61.2	112.6	2.97	Surface 9.9°C
		1	67.8	135.0	3.54	
		2	67.5	123.5	2.96	Bottom 9.9°C
9	19, Mar.～ 17, Apr. (29 days)	0	44.2	65.6	1.74	Surface 11.5°C
		1	38.0	87.7	4.67	
		2	33.6	67.0	3.55	Bottom 11.3°C

Table 28. Growth rate calculated from Table 27 during the co-existing culture.

No. of exp.	Date of culture	Duration of culture of co-existing sample	0 m		Below 1 m		Below 2 m	
			Growth rate	Mean	Growth rate	Mean	Growth rate	Mean
1	1st～31st	30, Dec. 29, Jan.	2.98	4.57	2.75	3.90	2.56	2.67
		23, Jan. 2, Feb.	6.15		5.04		2.78	
2	25th～35th	30, Dec. 29, Jan.	2.98	4.47	2.75	3.75	2.56	2.55
		23, Jan. 2, Feb.	6.15		5.04		2.78	
		29, Jan. 9, Feb.	4.28		3.47		2.30	
3	31st～42nd	23, Jan. 2, Feb.	6.15	4.62	5.04	3.64	2.78	2.21
		29, Jan. 9, Feb.	4.28		3.47		2.30	
		2, Feb. 17, Feb.	3.44		2.42		1.54	
4	35th～50th	29, Jan. 9, Feb.	4.28	5.53	3.47	3.38	2.30	1.70
		2, Feb. 17, Feb.	3.44		2.42		1.54	
		9, Feb. 24, Feb.	8.85		4.24		1.27	
5	42nd～57th	2, Feb. 17, Feb.	3.44	5.80	2.42	3.79	1.54	2.06
		9, Feb. 24, Feb.	8.85		4.24		1.27	
		17, Feb. 9, Mar.	5.10		4.70		3.36	
6	50th～70th	9, Feb. 24, Feb.	8.85	6.09	4.24	4.10	1.27	2.48
		17, Feb. 9, Mar.	5.10		4.70		3.36	
		24, Feb. 19, Mar.	4.32		3.36		2.80	
7	57th～80th	17, Feb. 9, Mar.	5.10	4.13	4.70	3.87	3.36	3.04
		24, Feb. 19, Mar.	4.32		3.36		2.80	
		9, Mar. 7, Apr.	2.97		3.54		2.96	
8	70th～99th	24, Feb. 19, Mar.	4.32	3.01	3.36	3.86	2.80	3.10
		9, Mar. 7, Apr.	2.97		3.54		2.96	
		19, Mar. 17, Apr.	1.74		4.67		3.55	
9	80th～109th	9, Mar. 7, Apr.	2.97	2.36	3.54	4.11	2.96	3.26
		19, Mar. 17, Apr.	1.74		4.67		3.55	

微に過ぎないし，2m 下のものは却って増加の傾向を示している．即ち水深を異にする三者の生長率が接近してきている．水面のものの生長率の急激な低下はこの時期即ち3月に至って，水面における光がノリの生育にとって不適当な状態になってきたことを示すものであろうと考えられる．第8回（3月9日～4月7日）の結果には更にこのことが明瞭に現われている．1m 下・2m 下のものの生長率は第8回と殆んど同一に近い値を保っいてるが，水面のものは急低下しその数値は前二者に劣ったものとなっている．第9回（3月19日～4月17日）の結果も同様であるが一層その傾向が強くでている．

以上が Table 28 についてみた生育状態の概要であるが，平均していない Table 27 についてみると生長率の変動に今一つの特異な現象が見出される．即ち培養の回数を異にするにしたがって生長率がかなり変動するが，その程度は水面のものが特に著しく 1m 下・2m 下と深さを増すにしたがって次第に緩慢となっている．これによってみると，環境の変化の影響（ここでは主として光）は深さを増すにしたがって小さくなる．換言すればノリの生育に影響を及ぼす環境条件の時期的相違は表面に大きく，水層を通るにともなって緩和されるものと言えよう．

実験 I では初期に水面・1m 下・2m 下の順で生育が良かったものが終期には逆転していた．これに反し実験 II では 1m 下と 2m 下の関係は時期の推移とともに次第に接近する傾向にあったが逆転することはなかった．これは実験を 2 ヶ年にわたって行っているので，その年の気象により（主として照射日光の量）水層を通過してから後の影響に差があるものではないかと考える．

以上 2 回の実験を要約するとノリの生育は比較的時期の始めには水面において旺盛であるが，2 月～3 月以後になると水面における生育は次第に衰退し，同様にノリの色調も黄味を増し品質不良となってくる．これに対し水層を 1m 或は 2m 通過した光の照射下では始めには余り旺盛な生長を示さないが長期にわたって続き，色調も黒味・青味を保ち黄色化しないものであると結論できる．これは光のノリ生育に及ぼす影響を観点を変えて明らかにしたもので，更に時期による光の違いの何物がこのような現象を起させる因子となっているか究明する端緒となるものと考える．

〔水深とノリの炭素同化作用〕

上記実験の結果ノリの生育が季節の推移にしたがい水深によって差異のあることを知り，その原因は主として光によるものと考えられるので，光が生育に関与する場合最も密接な関係にある炭素同化作用を水深と季節の推移についてたどってみた．ただし同化作用の強弱を正確に知るためには炭酸ガス摂取量と酸素呼出量を測定すべきであるが，本実験では強弱の比較に主眼があるので測定の容易な酸素呼出量のみによった．

まず実験方法について述べるに供試ノリとしては活力旺盛なもののみをえらび，その数葉を綿糸で小割竹に結びつけ，予め内容を精密に測容した 1L 容無色ガラス壜に海水（沪過して後約 40°C に加温し暫時攪拌して溶存酸素の一部を駆遂したもの）とともに入れ，気泡を残さないよう注意して密栓し直ちに所定の深度に沈める．これを正確に 2 時間放置した後取りあげ，手早く黒布製袋に入れて実験室に持帰り WINKLER 法によって溶存する酸素を定量し，実験の前後における酸素量の差をもって 2 時間中にノリの呼出した酸素の量とした．なお供試ノリは重錘及び浮子によって常に壜の中央部にあるようにし，また実験中壜の底部にとりつけた紐を海上から引いてノリを動揺した．

水深の種類は 0m（水面）・0.5m・1.0m・2.0m・4.0m・6.0m の 6 種とする．実験は 12月27日～5 月 9 日の間に約 1 ヶ月ごとに 5 回行う．なおこの実験には水温・天候・海水の透明度などが影響するから，これらについても観測記録した．

これらの実験の結果は Table 29 に実験 I～V として示した．

実験結果を考察するに先だち，深度による温度の影響をみるに深度による水温の差はいずれも 0.6°C 以下であってこれによる影響は無視してさしつかえないものとみなした．その

理由は乾物 1gr に相当する量のノリを 7°C 及び 13°C の海水に浮べ，150W 電灯を 2 時間照射して発生する酸素量を測定した処によると，7°C の時は 20.08 cc, 13°C の時は 26.39cc であった，即ち温度 1°C の上昇により 1.5cc の発生酸素量がふえたことになる．ノリ葉体 1cm² の乾物重量は 1.0～2.0mg であるから，平均 1.5mg として 100cm 当りの酸素量に 1.5 cc/gr をなをしてみると，0.225 cc となる．温度差 0.6°C ではこれ以下の酸素発生量の差となるのでこれによる影響は問題外であるとした．

よって温度の差は考慮せずに Table 29 により実験の結果を検討するに，まず実験 I（12月27日）ではノリの単位面積当りの酸素呼出量は水面が最も多くそれより水深を増すにしたがって少くなっている．その状態は水深の増加とともに殆んど直線的に減少する．

Table 29. Difference of CO_2 assimilation of Nori cultured at various depths of water.

Series of exp.	Depth (m)	Area of fronds (cm^2)	O_2 out-put Total (cc)	Per 100 cm^2 frond (cc)	Mean (cc)	Ratio (at surface =100)	Observations note
I	0.0	12.7 14.6	1.52 1.66	11.97 11.37	11.67	100.0	Exp. 27, Dec., 0.30～2.30 p.m.
	0.5	10.6 15.9	1.16 1.73	10.94 10.88	10.91	93.5	
	1.0	16.0 —	1.59 —	9.94 —	9.94	85.2	W. T. { Surface 12.5°C / Below 6m 12.0°C
	2.0	17.2 —	1.51 —	8.78 —	8.78	75.2	Amount of clouds 5
	4.0	16.0 —	0.98 —	6.13 —	6.13	52.5	Transparency 4.6 m
	6.0	12.8 —	0.52 —	4.06 —	4.06	34.8	Wave slight
II	0.0	9.1 8.1	3.97 3.58	43.63 44.20	43.92	100.0	Exp. 28, Jan., 1.48～3.48 p.m.
	0.5	8.8 8.0	3.75 3.46	42.61 43.25	42.93	97.7	
	1.0	8.7 8.6	3.17 3.30	36.44 38.37	37.41	85.2	W. T. { Surf. 10.9°C / Bel. 6 m 10.5°C
	2.0	9.0 —	3.18 —	35.33 —	35.33	80.4	Am. clouds 2
	4.0	8.2 —	2.72 —	33.17 —	33.17	75.5	Trans. 5.5 m
	6.0	9.0 —	2.48 —	27.56 —	27.56	62.8	Wave slight
III	0.0	7.5 —	2.70 —	36.00 —	36.00	100.0	Exp. 28, Feb., 2.05～4.05 p.m.
	0.6	7.7 —	2.41 —	31.30 —	31.30	86.9	Weather sometimes rain
	1.0	7.0 7.3	1.97 2.04	28.14 27.95	28.05	77.9	W. T. { Surf. 9.5°C / Bel. 6 m 9.2°C
	2.0	6.7 7.1	1.63 1.82	24.33 25.63	24.98	69.4	Am. clouds 7
	4.0	9.2 —	1.24 —	13.48 —	13.48	37.7	Trans. 2.6 m
	6.0	8.4 —	0.72 —	8.57 —	8.57	23.8	Wave high

IV	0.0	6.3 5.6	2.11 1.84	33.52 32.84	33.18	100.0	Exp. 29, Mar., 1. 50～3. 50 p.m.
	0.5	4.8 —	1.56 —	32.50 —	32.50	98.0	
	1.0	4.3 5.9	1.24 1.70	28.84 28.81	28.83	86.9	W. T. { Surf. 10.8°C Bel. 6 m 10.8°C
	2.0	4.7 —	1.30 —	27.66 —	27.66	83.4	Am. clouds 0
	4.0	6.3 —	1.71 —	27.14 —	27.14	81.8	Trans. 3.5 m
	6.0	5.1 —	1.21 —	23.73 —	13.73	71.6	Wave slight
V	0.0	9.6 9.8	1.29 1.35	13.44 13.78	13.61	100.0	Exp. 9, May, 10. 10～12. 10 a.m.
	0.5	12.5 8.6	1.67 1.20	13.36 13.95	13.66	100.4	
	1.0	11.7 8.7	1.51 1.13	12.90 12.99	12.95	95.2	W. T. { Sur. 14.3°C Bel. 2 m 13.7°C
	2.0	9.4 10.5	1.14 1.23	12.13 11.71	11.92	87.6	Am. clouds 2
	4.0	10.9 10.0	1.24 1.13	11.38 11.30	11.34	83.3	Trans. 4.5 m
	6.0	— —	— —	— —	—	—	Wave calm

次に実験 II（1月28日）の結果を実験 I と比較するに酸素呼出量が著しく増加していることが目につく．即ち実験 I では最も呼出量の多い水面のもので 11.69cc であったものが実験 II では 43.88cc と激増しており，更に同水深のものについて両実験を比較してみるに水深を増すにしたがって呼出量増加の割合が一層大きくなっている．而して水深を増すにしたがって呼出量そのものは減少しているが，実験IIの方が減少の割合は小さくなり，水面と 0.5m との差は特に著しく縮少されている．これによってみると，この時期には次第に照射光線の強さが増し同化作用は旺盛になるが，その影響は水深の深いものほど強く現われるものと思われる．換言すれば，光力の不足のため同化作用が抑制されていた水面以下のものも時期の推移にしたがい光力が増大しその抑制も幾らか緩和されたに反し，水面或はその附近のものは既に豊富な日光照射を受けているので光力の増大による同化作用促進の割合が少なかったものであろう．

実験 III（2月28日）の結果では水面においてノリ 100 cm² 当りの酸素呼出量は約 36cc となり，実験 II よりやや減少している．それより水深を増すにしたがって減少することは前二回の実験と同様であるが，特異な点はその減少状態が最も急激である．これは実験施行日の曇天の天候と実験時刻の遅延が原因と考えられるもので，この時期の常態ではなかったと思われる．

実験 IV（3月29日）の時は快晴で実験 III のような光力不足による異常はみられず，ノリの 100cm² 当り酸素呼出量は従来のものと同様水面のものが最大で水深を増すにしたがって低下している．その値は水面で約 33 cc であるから実験 II よりかなり減少している．

更に実験Ｖ（５月９日）と比較するに，これでは一様に甚だしい激減を示し，最大量僅かに 13cc 余に過ぎない．而して水深の増すにしたがって酸素呼出量の低下する傾向は示しているが，その勾配は実験 IV, V と時期の遅れるにともなって次第に緩くなり実験 V では水面と 0.5m 下とでは殆んど一致している．酸素呼出量の減少することは同化作用の衰退を意味し，時期が遅れてノリの盛期が過ぎたためと考えられ（時期が遅れてノリの盛期が過ぎているということは水温が不適となったことが主と思われるが，同時に光もノリの生育に不適当になるものと考えられる）各水位における酸素呼出量が接近していることは光の強度が増して来たためと思われる．

なお12月27日（実験 I ）及び２月28日（実験 II ）のように光の弱い場合には水深と酸素呼出量との関係が直線に近い形をとるが，次第に光が強くなると直線的でなく水面と 0.5m 下の値は接近し，1m 下における増加は比較的少く 2m 下乃至 4m 下のものと近くなる傾向を示すことは興味深い．これは 0.5m と 1m との間で炭素同化作用に関与する光の吸収される率が多く，それより深くなると 1m 下と 4m 下の差は比較的少く，更に深くなると光の不足が甚だしく顕著になることを示すものと考える．

以上水深によるノリの炭素同化作用の差を明らかにしたが，この成績を基にして上記水深とノリの生育についての培養試験の結果を検討してみる．即ち培養実験によるとノリは時期の始めには水面に近いものほど生長が良く水深を増すにしたがって鈍くなるが，２月から３月以後になると生長の最も旺盛な点は水面以下に移り，水面におけるものの生育が衰退しても 1m 乃至 2m 下のものはなお長期にわたって比較的良好な生育を維持する．これを今回の成績と対比するに，同化作用は常に水面のものが旺盛であったから同化作用の旺盛なことが生長の旺盛なことを意味するとすれば，表面のノリの生育は常に旺盛な生長を維持しながら続くべきものである．しかし事実はある時期以後は表面のものの生育が阻害されるもので，これは同化作用のみ強いことは全体の調和を破り，却って抑制された状態で生育を続けた水面下のものの方が長く生活力を維持するものではないかと考える．この現象はノリの生育にあたって常に顕著に現われるもので，同化作用の旺盛な場合にはそれによって調和の破られないだけの栄養分の補給その他が適合していかなければならない．また水流の適度が栄養分の多少によって，また水温の高低によって異同の生じる事実も，この生理的調和の現われであろうと考える．この事実はノリの培養・養殖にあたって常に念頭におかねばならぬ重要な基礎知見である．

(IX) 水流の生理的意義

(VII) 節において水流の遅速がノリの生育にとって如何に重要であり，また大きな影響を及ぼすものであるかを述べ，その適度を探究しそれが水温の高低・栄養塩類の多少など他の環境要素によって如何に変動するかについて解明することに努めたが，このような効果が何によって起るかについては，ただ単に水流により海水の交替が迅速となり，栄養分の供給並びに老廃物の排除が支障なく行われているためであると一般的な常識的な解釈にしたがってきた．この問題は栄養分の吸収並びに排泄即ち代謝の機構に関連するので，ノリは勿論海藻全般のこの方面の研究が充分進んでいない今日全くの仮説なしに説くことは困難であるが，以下いささか考察を試みる．

水流のノリの生理に対する意義は上に述べた常識的解釈に尽きるものであると思われる

が，しからば栄養分の供給と老廃物の排除が同程度に水流を必要とするものであろうか．それとも何らか違いがあるものであろうか．(VII)節において行った実験によると水流は貧栄養の培養液では 30 cm/sec に近い流速を必要とするにもかかわらず，富栄養の場合には 5 乃至 10 cm/sec の程度ですでにそれ以上の流速のものと同様の生長を示すものであるとの結果を得た．このように富栄養の場合には少くとも老廃物の障害は眼にみえて生育の上に現われているとは思われないが，貧栄養において迅速な水流を必要とする理由もこれと同様栄養補給を主とするものと考えるべきであろう．若しそうでなければ生育良好を示したものは，老廃物の害を制圧してなおそれ以上にそれだけの生育度を示したものとみなさなければならない．而して老廃物の害がそれほど大きいものとすれば，一般に生長の良好な状態ほど代謝作用旺盛で老廃物の生産も多く，従って害作用も大とならなければならない．このように考えると富栄養の場合にも水流の遅いための害がもっと明瞭にあらわれねばならぬこととなり，上に述べた実験の成績と違った結果を示さねばならぬはずである．結局ノリの生育に水流の強さを要求するのは栄養分の供給を第一の目的とし，水流がある限度以下になってはじめて老廃物の害作用が起きると考える方が無理がないのではないかと考える．而して老廃物の害作用のあらわれる限度は栄養分を充分与えながら生育が低下しはじめる 5 乃至 10 cm/sec 附近以下にあるものと考える．しかしこれより以下にあるだろうということは推測し得るがこれを限界として老廃物の害作用があらわれると見るのは早計であって老廃物の害作用の限界は上記実験のみでは見出すことが出来ない．何故ならば，例えば 5 cm/sec において生育が低下しはじめたとすると，これより遅いものでは充分栄養源の補給が行われ得なかったものとも考えられ，老廃物の害作用との区別がつかない．即ちノリが栄養分を吸収すると葉体周辺の海水中の栄養源が減少し，水流が遅いとその旺盛な生育を遂げるために要求する栄養分すら充分補給出来なかったものとも考えられるからである．それではもっと栄養分を濃くした実験を行えばよいとも一応考えられるが，これについては（V）節〝窒素源の濃度〟についての実験に示すようにある限度以上濃厚にすることは濃厚にした添加物のための障害を引き起すこととなりこのような実験は少くとも生育試験としては意味をなさない．

いずれにしても栄養分補給には 30cm/sec に近い水流を必要とする場合があるにもかかわらず，老廃物の障害を除くために必要な水流は 5 乃至 10cm/sec 以下にあるものとすれば，老廃物の害は比較的大きいものではないと考えられる．しかしある程度以下に水流が弱くなると急激にその害作用が増大することも考えられるので，更にこれについて検討を試みる．

まず老廃物とは何であるかを考えるに，これに関する研究はノリについては全く手がつけられていないのみでなく，他の海藻についても知られているところは少い．FOGG[5] が綜説的に述べている処によると藻類の細胞膜は有機質を通すから，代謝の結果生じた排泄物も細胞外に出すことが出来るものであり，従来の研究結果として，単細胞の藻類で純粋培養を行い，同化炭素の 2～12.5% が可溶性の形で体外に排泄されると述べている．しかしそれが何であるかは不明で，窒素化合物としては polypeptide であることも amide であることも考えられるとしているが，いずれにしてもこれらのものは普通の海水培養基中では塩類を作りそのままの形であるとは思われないと述べている．老廃物がこのようなものであると考えるとこれらの排泄物が細胞内から海水中に排出されて後に害作用をなすものとは思われず，細胞内に残っている場合に有害であって細胞内から滲透乃至拡散によってこれらのものを体外に放

に葉体表面を海水の流動することが必要となるものではないかと考える．従って水流の適度は老廃物に関する限り，これらが体内に蓄積されて害作用を現わすまでに至らない時間内に体外に持ち出す程度を限度とするものと考えてよい．

上の説にしたがえば老廃物が体外に排泄されて海水中に混和されて後の害作用は考えなくともよいが，実際にこれがノリの生育に対して如何なる影響を及ぼすものであるかをみるため次のような実験を行った．即ち多量のノリを培養して老廃物過量とみなされる海水を作り，これを沪過しこれに $NaNO_3$ 0.01% を加え常法の通り生育培養実験を行った．老廃物濃厚液作成のノリの培養は，培養を昼間のみ行ったもの（同化作用が旺盛に行われたと思われるもの）と夜間のみの二種とした．実験の結果は Table 30 に示す通りであるが，これによる

Table 30. Growth of Noi-frond in the wasteful medium of cultural excretion.
(exp. 20, Dec.～5, Jan., W. T. 10±1°C)

Series of exp.	Ratio of concent-ration	Area of fronds			Note
		Before culture	After culture	Growth rate	
		(cm²)	(cm²)		
A (medium for day)	4	19.9	47.5	138.7	(A medium of 10 L sea water in which 50gr of Nori-frond were cultured in day time only.)
	6	30.9	82.5	167.0	Add: 0.01% $NaNO_3$ to each med um.
	10	37.8	86.5	128.0	Change of water every other day. Ajust: pH at 8.3.
B (medium for night)	4	32.5	68.5	110.8	(A similar medium to above but cultured in night time only.)
	6	36.1	82.0	127.1	Treatment same as above.
	10	38.5	76.0	97.4	
Control	0	46.5	87.0	88.5	Sea water only. Treatment same as above.

と老廃物濃厚海水が無害であるばかりでなく，却って何らか生育を助長する成分を生成したものではないかと思われる成績を得た．即ち，昼間ノリを培養して旺盛な同化作用を行わせたものの廃液を培養液としたものがもっとも良好な生育を示し普通海水で培養した対照がもっとも劣っている．老廃物の組成を明らかにしなければこの数値から余り微に入る推測はできないが，この結果から少くともいわゆる老廃物は海水中に混和すれば害作用を示す形では残っていないものとみなすことができるであろう．

ノリは炭素同化作用が盛んに行われている時には一般には他の代謝作用も盛んとなるもののようで，豊富な硝酸態窒素を加えた海水10 L 中にノリ5 0gr を入れて培養しその時間経過による硝酸態窒素の消費状態をたどるに，Table 31 に示したように日光乃至電灯の照射により窒素の消費が著しく促進され特に窒素源の豊富な間は顕著である．これによって考察をめぐらせるに，昼間ノリを培養した海水中には炭素源のみでなく窒素源その他の栄養分も減少し，それに代って代謝作用の結果生成された老廃物がかなり蓄積され増量しているものとみてよい．このような組成の海水中でノリが良好に生育することは甚だ興味深い．ただし上に述べた老廃物過多の培養実験では 0.01% $NaNO_3$ を加え隔日に換水を行っているもので，若し窒素源を添加せずそのままの培養液を用いるとノリは正常な生育を続けることが困難となり，また換水を怠っても急激に生育は不良となる．これらはひとえに栄養源の欠乏にもと

Table 31. Variation of contents of the dissolved-O_2 and nitrate-N in the culture of Nori.
(cult. 50 gr Nori-frond per 10 L sea water)

Date	Hour	Dissolved-O_2	NO_3-N		Note
			Quantity remained	Quantity consumed	
		(cc/L)	(γ/L)	(γ/L)	
Mar. 28	12-00	5.86	540		Fine weather
	14-00	10.33	480	60	Irradiate: sunlight
	16-00	9.01	370	110	
	18-00	10.15	290	80	
	19-30	10.05	250	40	
〃 29	11-30	5.58	180	70	Rain
	13-30	5.78	160	20	
	15-30	5.68	140	20	
	17-30	5.58	110	20	
〃 30	10-30	3.38	85	35	Rain
	13-00	3.51	85	0	
	15-00	4.66	85	0	Irradiate: 100 W electric light for 2 hrs.
	17-00	5.20	75	10	
	19-00	5.92	70	5	
〃 31	11-30	5.01	70	0	Cloudy weather
	13-30	6.43	70	0	Irradiate: 100 W electric light for 2 hrs.
	15-30	7.53	60	10	
	17-30	8.61	55	5	
	19-30	8.27	55	0	

ずくものと思われる．

一般にノリを換水せずに同一海水中に長く培養することは困難であるが，上に考察したように老廃物の蓄積による障害がないものとすればその原因は何によるものであろうか．これについても現在の研究段階で断定することは危険であるが，栄養分の欠乏（既知の栄養塩類以外の成分をも含めて）のほか pH の上昇・細菌その他微生物の繁殖が主要な障害ではないかと考える．即ち培養実験の経験によると春先になり水温がやや高く（12°C 以上）光が強くなってきた際には，温度調節および換水をせずに栄養分の補給のみによってノリを 5, 6 日以上衰滅させずに培養することは難かしいのであるが（特に水の流動が弱いとき），冬期であれば普通に生育実験の基準としている 2, 3 週間の培養期間中であれば死滅することはない。その実例として12月～1月に行った無換水の培養実験の結果を示せば Table 32 のようになる．培養方法は往復運動式の常法によったもので，培養液として沪過海水そのままのものと，毎日塩酸により pH を 8.2 に調整したものと，0.01% $NaNO_3$ を添加したものと三種を設定した．表に示した通り $NaNO_3$ 添加のものは正常に近く生育し無操作のものも死滅することなく僅かではあるが生長を示している．同時に測定した pH を見るに無操作のものは容易に pH 8.6 まで上り，これより下がることなく，$NaNO_3$ を添加したものはやや遅れて上昇する．この後者がやや遅れる理由は明らかでないが，障害の強弱にはこのような処にも因があるものであろう．いずれにしてもその他の環境条件がよい場合には，窒素源の補給により無換水の害をかなり除くことができるものである．この事実は先に (V) 節の〝窒素源の肥料効果〟の実験においても指摘したところであるが，更にこの培養を一ヵ月も続けると $NaNO_3$ 添加のものといえども甚だしく生育が鈍つてくる．このような点から考え同一海水で培養する弊の第一原因は栄養源の消費欠乏にあると思われる．而して上に述べた老廃物過多の場合の実験もこれを例証するものに他ならない．しかしこの実験にもみられるように限られた容器内では pH の上昇も無視出来ない．

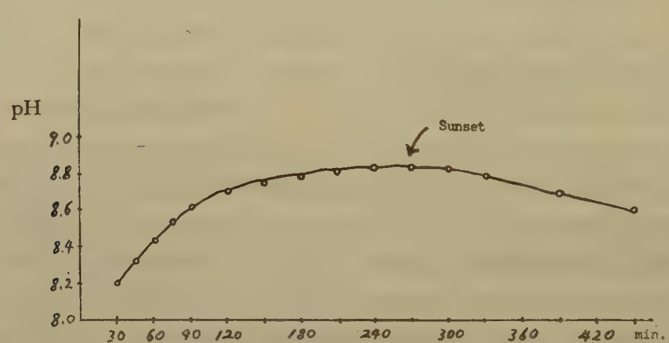
Table 32. Growth of Nori-frond in culture medium without change of water.
(exp. 20, Dec.～5, Jan.)

Treatment	Area of fronds			Note
	Before culture (cm²)	After culture (cm²)	Growth rate	
a. Untreatment	48.0	64.0	33.3	Yellowish color deepened
b. Adjust pH	38.4	61.5	60.2	Color tone weakened
c. Add 0.01% $NaNO_3$	28.0	62.0	121.4	Color tone improved after 3～4 days

Variation of the pH value during culture (measured at noon every day).

Exp. \ Date	Dec. 21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Jan. 1	2	3	4
a.	8.4	8.4	8.5	8.5	8.6	8.6	8.4	8.4	8.5	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6
b.	8.2	8.2	8.1	8.2	8.3	8.3	8.3	8.2	8.1	8.1	8.2	8.2	8.1	8.1	8.2
c.	8.0	7.8	7.8	8.0	8.4	8.3	8.3	8.4	8.4	8.4	8.5	8.6	8.6	8.6	8.6

富士川[24]の研究によるとノリの生育に及ぼす pH の影響はかなり顕著で，培養実験によると pH 7.0～7.5 がもっとも生長良好でアルカリ側は一般に不良である．ノリが同化作用の結果 pH の上昇をきたす速度は非常にはげしいもので，一例として 200cc の海水中に面積 160cm² （葉体 6 枚）のノリを拡げて日光を照射した場合の pH の時間的変化を示せば Text-fig. 12 の通りとなり，一時間で 8.6 に及び 3～4 時間で最高 8.8 をこえた点に達する．



Text-fig. 12. Change of pH value of culture medium by solar radiation.
(Experiment began at 12-30 a. m., 18th March. Weather fine, Water temperature 22～17°C, Area of Nori-fronds 160cm², Quantity of sea water 200cc.)

実際に漁場で海水の pH がこのように上昇することはあり得ないと思われるが直射日光を受けた場合にノリの葉体のごく周辺にはこのような変化が起っているとみなしてよい．海藻による pH の上昇は ATKINS[4] などによっても観察されている処で，緑藻により Tide pool の海水の pH が数時間の日光照射によって10以上になったと報告している．この pH の上昇は排泄されたアルカリ性物質によるものもあると考えられるが，主要な原因は同化作用によって炭酸が消費されるためと思われる．従ってその上昇の速さは日光の照射によって促進

され，同時に水温によってもかなり異同を示すものである．その様相を知るため，1L の海水中に 5gr のノリを入れ光線照射時間及び水温を変えて，その間のアルカリ度の変化をたどった実験の結果を示すと Table 33 の通りであって，その変化はかなりはげしい．この実

Table 33. Variation of alkalinity of culture medium under irradiation of 100W electric lamp and various water temperature.

Water temperature (°C)	Duration of irradiation (hrs)	Quantity of N/10 HCl consumed (cc)	Note
10	0	1.52	In dark room
	3	1.55	
	6	1.59	
	9	1.63	
	12	1.68	
10	3	1.89	Irradiated with electric light and agitated once 15 minutes
	6	2.13	
	9	2.40	
	12	2.64	
10	3	1.83	Irradiated with electric light but did not agitate the medium
	6	1.98	
	9	2.13	
	12	2.27	
15	3	1.90	〃
	6	2.08	
	9	2.21	
	12	2.34	
20	3	2.04	〃
	6	2.23	
	9	2.41	
	12	2.53	
25	3	2.32	〃
	6	2.48	
	9	2.63	
	12	2.72	
30	3	1.97	〃
	6	2.12	
	9	2.18	
	12	2.22	

験においては光線として 100W 電灯を用いたが太陽光線を受けた場合の変化が如何に強烈であるかは想像にかたくない．富士川[24] の実験によるとノリは海水より高いアルカリ性の溶液に一時的に浸漬してもその生育を著しく害するものであって，色調も甚だしく褪色する．これらの事実から推測すると，ノリの旺盛な生育にともなって起るアルカリ性の上昇による害作用も無視出来ないものと思われる．ノリ葉体のごく周辺は一時的にもせよこの害を受けるものであるから，これを排除する処に水流の効果の一端が存するものと考えられる．更に同様の事実を実証するものとして次の実験をあげることができる．ノリ葉体を拡げて浮游させた容器を静置し換水を行うものと行わないもの，即ち毎日・2 日毎・3 日毎・4 日毎・5 日毎に換水するものと無換水のものの 6 種の操作をほどこした場合のノリの生育状態を調べてみた．この場合の水の流動は換水を行う際だけで，その他の時間には気温と水温の温度差による対流と溶在塩類の濃度差による拡散によって栄養分の補給並びに老廃物

の排除が行われているものと考えられる．上にも述べたようにこのような状態で水温高く光線の強くなった春先には一週間以上の培養は困難であるが，冬の好期には死滅せず生育するもので，海水そのまま及び屎尿液を入れた富栄養海水で実験した成績は Table 34 のようになった．これによってみるとノリ生育にとってもっとも好適な時期には海水そのままで2日

Table 34. Effect of change of the culture medium on the growth of Nori-fronds.
Exp. I. Sea water only (exp. 10～31, Jan., W.T. 10°C)

Change of medium	Area of fronds			Note
	Before culture (cm²)	After cultur (cm²)	Growth rate	
Every day	9.04	18.88	108.8	Color tone relatively good
Every other dey	7.96	16.16	103.0	
Every 3rd day	6.56	11.04	68.3	Color rather faded
Every 4th day	6.76	9.92	46.7	Color tone became worse since the second change of water
Every 5th day	7.12	9.96	39.9	
No change	8.28	8.67	4.7	Almost decolorized, no vitality

Exp. II Eutrophic sea water (added 0.1% completely decomposed faeces and urine).
(exp. 16, Feb. ～5, Mar., W.T.10±1°C)

Change of medium	Area of fronds			Note
	Before culture (cm²)	After culture (cm²)	Growth rate	
Every day	40.5	95.4	138.0	Color tone good
Every other day	42.2	104.3	147.2	
Every 3rd day	25.2	62.0	146.0	
Every 4th day	19.2	42.7	122.4	Color tone rather inferior
Every 5th day	34.7	68.1	96.3	
No change	37.1	31.9	−14.0	Pathological symptoms appeared

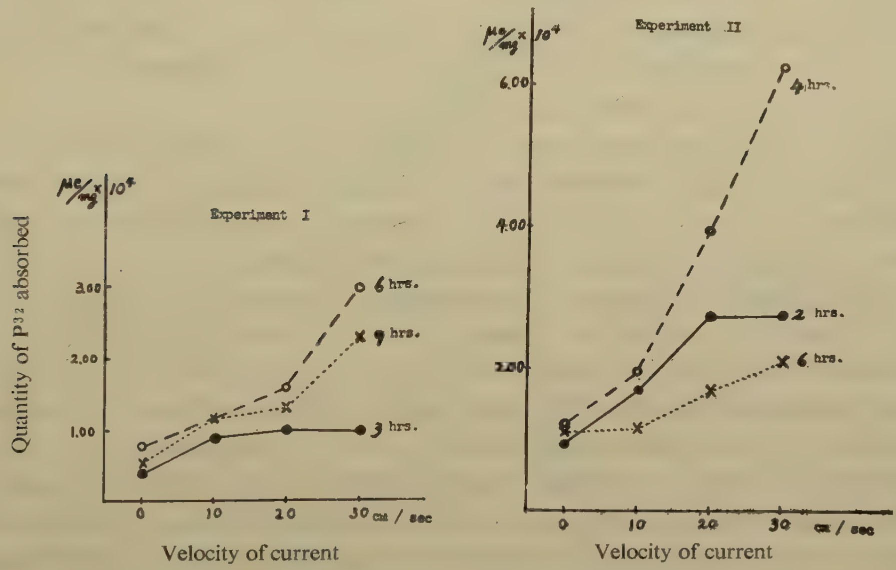
に一回の換水，栄養分の多い時には更に長く3日に一回の換水で，その余の時間には静置しておいても大した障害が起きない．しかしこの実験ではノリを拡げて海水による接触を出来るだけ能率よく行えるようにしたものであって，対流・拡散による効果は最大限発揮されているはずである．従ってこのような状態で富栄養であっても4日毎の換水の程度のものからやや害作用の徴候があらわれるのは，葉体周辺の pH の上昇乃至体内での老廃物の蓄積による障害がノリの生育にあらわれてきたのではないかと推測する．これに対し無換水のものが甚だしく生育を阻害されるのは，まず栄養分の不足が起り，これに pH の上昇・老廃物の蓄積・微生物の繁殖などの障害が並行的に附加されるものではないかと考える．

概念的に言えば，栄養分の補給はノリがその生理的状態で要求するだけの量を海水が常にノリの細胞表面に接触して補給すればよく，老廃物乃至 pH についてはそれらによる害作用が葉体にあらわれる以前に運び去られればよいわけであるが，水の流動による効果は前者の方により大きく現われるものであろう．而して海水による供給がノリの要求量に達しない場合には，その海水中に含有する栄養分のうちのどれかの成分がノリの生育を制限する因子となりその生育を阻害するものと考えられる．MUNK ら[50] は植物体を長さ l cm・巾 d cm・厚

さ w cm の薄い plate と考え，この植物体が定着し，周囲の海水から q gr/sec の速さで栄養分を吸収する場合，その海水が栄養分 ϕ gr/cm³ を含有し，d にそって流れるものとし，その時の必要な流速 v cm/sec を理論的に導き出し次の式を与えている．

$$v = \left(\frac{2q}{s}\right)^2 \quad \frac{1}{\phi^2} \quad \frac{d}{k^1} \qquad \left(\begin{array}{l}\text{但し } s \text{ は両面の表面積 即ち } 2ld \\ \quad k^1 \text{ は拡散の常数，水では } 4.5\times10^{-6}\end{array}\right)$$

この式によれば所要水流は海水中の栄養分の量の自乗に逆比例するもので，例えば海水中の燐の含量が 1γ/L から 0.5γ/L に減じると，$q/s=10^{-10}$ gr/sec・cm²，いま d=4cm の形の藻体を仮想した場合 1γ/L（即ち $\phi=3.1\times10^{-8}$ gr/cm³）では v=37cm/sec となるが 0.5γ/L では v=150cm/sec となると計算している．即ち制限因子についてはこれに類する必要水流が存在することになるものである．しかしこれは藻体を模型的に考え，その生理的機構についての考慮を払っていないから実際の栄養分吸収状態とは異るものと思われる．生理的な面を考慮しなければならない例として P^{32} を tracer として使用し水流の違いによって燐のノリ葉体への吸収が如何に相違するかをみるため行った 2 回の実験の成績を示すと Text-fig. 13 のようになる．これによってみると水流の速いものほど明らかに P^{32} の吸収



Text-fig. 13.　Effect of water current upon absorption of P^{32}.

量が多い．しかし P 吸収時間（即ち培養時間）の短いもの（実験 I では 3 時間，実験 II では 2 時間）ではある程度以上流速が速くなると殆んど吸収量が相違しない（実験 I では 10 cm/sec 以上，実験 II では 20cm/sec 以上）．この理由は流速が速くなり P^{32} のノリ葉体への接触が頻繁であってもノリの P 吸収能力が生理的な限度以上には発揮出来ないためと考えられるもので，必要以上の供給が行われているものと言えよう．富栄養の場合に水流が比較的遅くとも充分効果があって，それ以上速いものと生育が余り変らない事実も同様の現象であると考えられる．（(VII) 節の成績によると富栄養の場合の培養実験では 5cm/sec と 30cm/sec とが殆んど生育に相違がない.）

以上水流のノリに対する生理的意義について種々の角度から考察をほどこしたが，要するに水流はノリに対する栄養分の供給を円滑にし細胞内における老廃物の蓄積及び海水の pH 上昇の排除を促進するものであって，実際には後者の作用は前者にともなって行われ余り顕著なものではないと推論した．

なお海水の流動それ自体がノリの生育にとって刺戟的乃至触媒的作用があるのではないかと考えられるが，これに対する考察の資料は遺憾ながら全く持合せていない．しかし (VI) 節において胞子発芽期の水流の意義として考察したように，少くともこの時期には水の流動はノリにとって栄養分の補給よりは刺戟的作用の方が大きいものではないかと考えられる．いずれにしても今後に残された興味深い問題である．

(X) 水流の漁場における意義

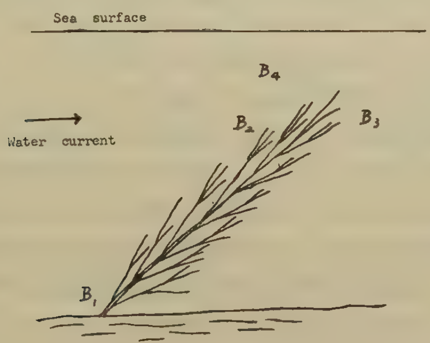
(VII) 節に述べたように水流の適度を培養実験的に探究した処によると，胞子着生期には 7cm/sec 附近，その発芽期には 25cm/sec までの範囲，生育期には普通の海水であれば 20cm/sec を中心とし 15～30cm/sec の程度にあるものと見られる．而してその作用は胞子着生期には篊に対する胞子の接触の機会を多くし，発芽期には単胞子の放出着生を助長し，生育期には栄養分の補給を主とするものであろうと推論した．これらの水流に対する知見をもととして漁場における水流の意義を考察しておくことは，これを産業面に応用する場合に重要であるからこれについて簡単にふれる．

漁場においてノリが受ける水流の影響は，培養実験で行ったように局限された容器の中で一定に設定された流速の水流を受ける場合とは異り，時々刻々変化するいろいろの種類の水流の影響を受けているものと思われる．よって漁場においては，水流を水の交替乃至流動と解釈し，松平[45] の見解のようにノリ葉体表面に接触した水量とみなすこともできる．しかし接触する水量とみなす場合にはその量を接触水の積分で表わさなければならないから，数値的に正確に知ることが困難であって流速によって示す方が容易である．しかしこれによると局所的な表示にとどまることはまぬがれない．

今海水流動の種類を考えるに，海流・潮流・風波浪などがあげられるが，この中海岸近くに漁場をもつノリ養殖では海流の影響を受けるものは少く，特に瀬戸内海では海水流動の最も大きなものは潮流である．これによって海水全般の移動が行われ，漁場の水流を流速として表示する場合には主としこれをさしていることになる．潮流は浅海においては流向もある時間内は比較的一定で，培養実験によって設定し得た水流，特に円運動式のものはこれに近いと思われる．しかしその流速は漁場では局所的に最も変化を受けやすく，深さによっても変り，地形によっても相違し，篊その他障害物によっても増減する．例えば Text-fig. 14 のような女竹篊の附近の流速をプライス流速計で測定した状況を示せば，Table 35 のように篊の近くではその影響を受けない場所の約 1/3 となり，しかもその部位によって複雑な異同をみせている．このように篊など障害物に接近した部分では海水の流速が甚だしく削減されるので，若し篊が孤立していると篊の附近には流速計に感じない渦流が生じ水流が比較的遅くとも海水の交替が行われノリの生育を阻害しないが，密植していると渦流をも妨げられていわゆる密植の害が部分的に著じるしく強調されると想像される．この潮流の障害物による流速の減退は，漁場の開発に当っても常に念頭におかなければならない事項で，篊の建っていない時期に潮流調査を行い冬期篊を建て込むと全く様相の変化することはしばしば経験する

Table 35. An example of actual survey upon the change of velocity of water current by an obstacle.

Observation position	Observation part	Velocity of current
A Depth of water ca 2.5 m	Bottom	27.1 (cm/sec)
	B_1	12.8
	B_2	20.6
	B_3	12.5
	B_4	31.8
	Surface	30.6
B Depth of water ca 2.0 m	Bottom	24.2
	B_1	11.7
	B_2	12.8
	B_3	26.1
	B_4	39.4
	Surface	33.6



Text-fig. 14. Parts of observation of water current near a Japanese medake-hibi. (a bamboo stick for attachment of Nori-fronds)

処である．従って培養実験において得た普通の海水における最適水流 15～30 cm/sec のみを基準として漁場の水流を格付けすることはできない．実際の漁場においては，水流が迅速に過ぎてノリが切れるなどの害をうけることは稀であるから潮流は一般には速いほどノリには好都合である．しかし潮流はある時間内は一定方向に流れるものであるから，円運動式培養装置の場合指摘したように速すぎるとノリ葉体が捩れて受光面乃至海水接触面をせばめて生育を阻害することがある点には注意を要する．

漁場における潮流についてノリ養殖上今一つ注意せねばならぬことは憩流（たたえ）の現象である．一般に内海では漲潮及び落潮の転流時に殆んど海水は停滞するが，海域・地形によってはかなり長い時間そのままの状態を呈する場所がある．例えば笠岡湾に近い地点で，平時50cm/sec の潮流を示しながら急に 8cm/sec 以下の停滞を一潮時 5 時間記録する観測を行ったことがある．よってこれに関連し，12時間（1 潮時）の中 4 時間及び 6 時間運動を停止し，その余の時間には所定の流速を与えて円運動式培養実験を行ってみた (Table 36)．その成績によると 6 時間の停止即ち滞流によってノリは 2 週間の培養実験にも耐え得ない害作用を受け，4 時間の停止であっても一般に適度の水流に近いと思われる 20cm/sec ではまだかなり著しい生育阻害を受け，27cm/sec に至って漸やく順調な生長を示している．ただしこの実験では影響の差異を大きく出させるため，ノリ葉体を多くし培養水温を高くし

Table 36. Growth of Nori-frond under stagnant water current.
Exp. I (streamed for 8 hrs., and stopped for 4 hrs.) (exp. 3～17, Feb., W. T. 12±1°C)

Velocity of current	Area or fronds		
	Before culture	After culture	Growth rate
(cm/sec)	(cm^2)	(cm^2)	
27	237.1	430.5	27.7
23.5	432.0	495.2	14.7
20	422.5	464.0	9.8
16.3	426.8	457.7	7.2
13	426.8	452.0	5.9
9.3	356.7	376.5	5.5

Exp. II (streamed for 6 hrs., and stopped for 6 hrs.)
Nori-fronds cultured in less than 15cm/sec water current are injured on the margin of frond into a reticulum in 3～4 days. And after a week, color of the middle portion of fronds also fades and loses entirely its vitality. Others maintain their vitality longer, but none continue 2 weeks' life.

ているから結果が明瞭になっており，また実際の漁場では波浪などのため攪乱がおこり，海水の流動が全く停止したまま 4 時間も続くことはあり得ないが，水流の停滞が比較的長い場所ではこれに類する障害を受けているとみなさなければならない．

潮流についてなお注意すべき事項としては，Table 35 の表層と底層の観測値にもあらわれているように深さによる流速の相違で，一般には表面または少し下が最強で浮篊ではこの水層をえらぶ管理も考慮すべきである．また潮流による海水の交替は周期をもってくり返されているため，地形によっては同じ水塊があまり組成が変わらず往復していることもあり得るから，このような漁場では栄養分消耗による密植の害も考えられるので留意せねばならないが，考え方によっては施肥が有効に行える場所とも言えよう．

潮流に次いで海水の流動として大きなものは風波浪であって局部的な海水混合攪拌という意味では潮流に勝るものではないかと考えられる．極端に言えば常に一定の風波浪を受けることができれば，ノリは潮流のような一定方向の流れがなくとも却って周辺の海水の交替は良好であり，葉体も拡がり受光面が比較的大となり，ノリにとって好適な環境を得るものと言える．特に表面浮游を行わせる浮篊においてその効果は大きく，浮篊がノリの生育に良好とされる理由には太陽光線を多量に受ける利点と同時に，この風波浪による海水の交替の好影響があげられる．しかしこの影響及び強さも的確に数値的に表示することは困難である．而して風波浪の強さの限界はノリの切断されて流失しない程度であれば強いほど良いわけであるが実際にはこのような風波浪に耐える装置の作製が問題となる．いずれにしても風波浪は常に一定の適度が維持されるとは限らないので漁場選択要素としては一般的ではないが，ある地方では冬季特有のものもあり，また篊の管理上には常に考慮を払わなければならない重要な要素である．

更にノリに接触する海水の交替として対流及び拡散があげられるが，漁場構成の重要な要因とは言い得ない．しかし水流の効果も最終のノリ自体との関係においては対流及び拡散の作用を助長していると言えるもので，これによってノリと海水の間に栄養分・老廃物の授受が行われると考えられる．これもまた測定して数値的に表示することのむつかしい要素である．

海水の流動にはこれら以外にも厳密な意味ではいろいろの種類があるが，ノリの生育に大

きく影響を及ぼすものとしては，以上を主要なものとする．例えば漁場の開発にあたってはまず潮流の流速を測定し，次に冬季の風波浪の強弱を考慮して漁場としての適否を検討する．勿論上来述べ来ったように，ノリの生育にとっては種々の環境要素が相関連して影響を及ぼすものであるから，海水の流動のみでなくこれらすべてを考慮の中に入れて漁場構成条件を検討しなければならない．このようにして内海のノリ漁場を開発した試験の中，水流を漁場構成条件中特に重視して行ったものを水流の漁場的意義を実際に生かした一例として次にかかげる．

〔陸水流入の少い漁場の開発試験〕

内海ではノリの生育にとって比較的高水温で養殖を行っているものであり，しかも海水中の栄養塩類特に窒素源の変動が大きく冬季その不足をきたす水域が多い．そのためできるだけ水温が低く栄養源の供給が豊富な場所をえらぶこととなり，従来は多少比重低下の危険をおかしても川裾に発達してきたものと思われる．而してこれらの欠陥を補うため特に海水の迅速な交替を必要としている．即ち内海ではその海況の特性からノリ生育に好適な環境条件に照応するためには，漁場には次のような条件を具備することが必要である．

水温について：冬期には水温より気温の方が低いから干潟乃至水深の浅い場所で，海水ができるだけ流動放冷されて水温の低下すること．

栄養源について：外洋からの供給は望み得ないので陸水により補給されることとなるが，比重の甚だしい低下は不適当であるから水量が少く，しかも栄養源を豊富に含む陸水の流入が望ましい．そうでなければ，地形的に陸水・海水の攪拌混和のできるだけ完全に行われる水域であること．

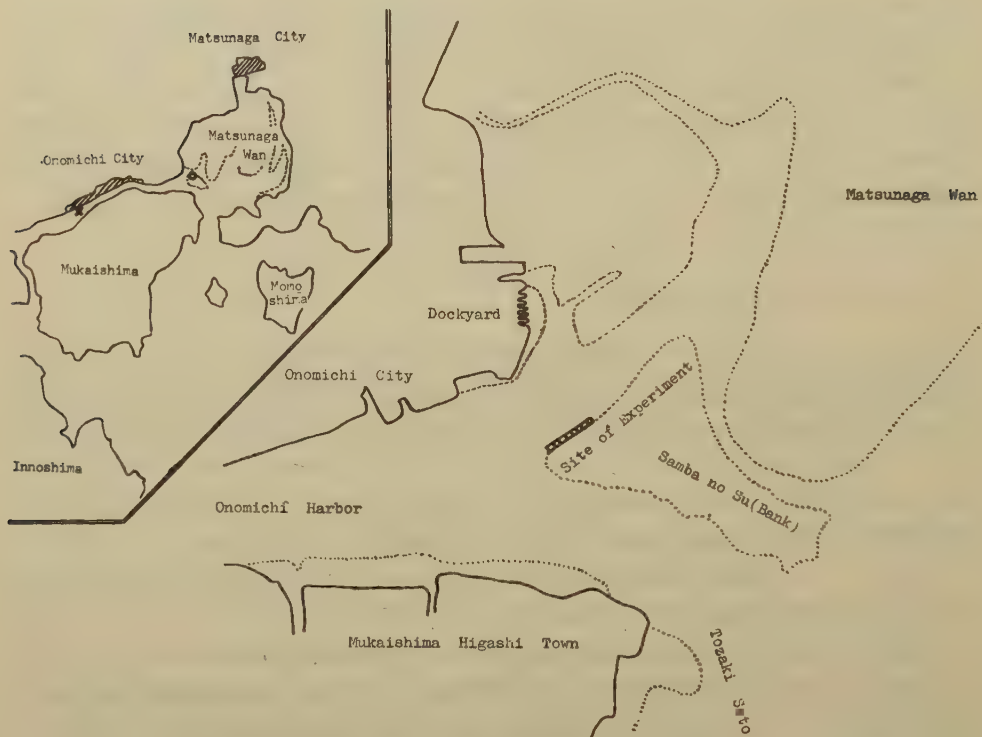
水流について：高水温・貧栄養海水の欠陥を補うためには必須の条件であり，海底に凹凸のある浅海・内湾・島嶼の間・澪筋・河川口のように適度の水流の生じる場所乃至波浪の比較的強い海域など，海水の流動はげしくしかもそれが継続すること．

光について：冬期には光に対する考慮は殆んど払う必要がないが，水温が比較的高く貧栄養海水である関係から春期には弱い方がよい．そのためには適度の混濁が有効の場合もある．

これらの漁場構成条件を目安として内海における漁場開発を行うものであるが，勿論各要素の間に条件としての軽重があり，内海では　水温：栄養源：水流：光＝35：35：20：10の程度の比率を念頭において候補地をえらべば適当ではないかと考える，

ここにかかげる尾道水道における試験は1951～1952年に行ったもので，陸水の影響がなくてしかも水流の迅速な水域における漁場開発例として企画したものである．このような水域は内海のノリ養殖場に対する従来の通念では全く漁場としては想像もできない新しい場所であって，若しここでノリの生育が正常に行われるものとすれば，内海沿岸には島嶼間などにこれに類似の海況をそなえた場所が広範囲に見出し得るものである．

まず立地条件について述べるにこの地は Text-fig. 15 に示した通り淡水を流入する河川が殆んどなく，ただ広大な松永湾の海水が狭隘な尾道水道に向って干満にともなって漲退している処で，かなりはげしい水流を生じる．しかし底質が砂礫であるため海水は比較的澄明で，冬期の水温は松永湾の干潟の影響を受け外海備後灘の水温よりはやや低いが川裾の漁場である一般の養殖場ほどには低下しない．上述のように河川の流入が殆んど皆無なので海水中の



Text-fig. 15. Site of experiment in Onomichi.

栄養分は決して多量ではないが，沿岸の尾道・松永両市の影響によるものか外海に比較するとやや多いようである.

次に開発試験の手順として，夏から秋にかけて数回試験地の潮位・水温・比重・流速・水質（栄養塩類）その他を測定する．これによって漁場の海況を知るものであるが，同時に気象統計により冬期の気温・風力・日照時間など気象に関する資料を検討する．このような調査を行った結果の一部を示せば Table 37 及び Table 38 に示す通りであるが，この試験地における最大流速が 58cm/sec にも達し 20cm/sec 以上を示す時間が 1 潮時（約12時間）に 6,7 時間にも及ぶことを知り，この地が陸水の影響少く水流の速い試験地として興味あるものとして試験を開始した.

ノリ生育試験は基準となる当大学箕島浅海干潟実験所で予かじめ種子付した簾を養殖適期に移植し種々の試験簾を設定し，それらのノリの生育状態を観察し，摘採量を測定し，その成績を箕島試験地の成績と比較検討するものである．即ち12月18日箕島試験地より 8 枚の試験簾（約 2.3m の竹を約 6mm 巾に割り，この割竹 60本を 6cm 間隔に網んだもの）を移植し，露出時間の試験及びこの地の海水が清燈であることを特色とするので水深に対する試験を組む．生育状態の観察並びに摘採量を測定した結果（Table 39 に一部を例示）によると，対照とした箕島試験地のものより生育は却って良好で，1 月末までの摘採量は約 2 割も上廻るものであった．また色調も黒紫色を呈し光沢においては特に優れていた．2月中旬から表面浮游のものはやや褪色し一部切れて流れるものがあらわれたが水深 30cm 下のものにはこ

の現象がみられなかった．これは海水が清澄に過ぎ光が強くなりノリがやや弱った処へ，この土地の特色である強水流を受け一部切れたものと判断されるが，一般の養殖場でこのように水流が強過ぎて切れるものを観察することは殆んど例のないことである．しかしこの程度の生産があがれば産業的には成り立つもので，要するに冬期水温低く光の弱い間は強水流が益して箕島試験地以上の好成績を示したものと思われる．

この試験地におけるこの成果は内海のこのような陸水の影響のない場所においても適度の水流があれば，よくノリを養殖し得ることを実証したものである．ただしここにおいても内海の高水温がわざわいし海水の澄明なることと相まって，やや盛期を短くしていると推断される．

Table 37. Oceangraphic observations at Onomichi experimental ground.
〔Sixth observation〕 (obs. 2, Dec., by tide-table low water : time 5-40, height 0. 13m,
high water : time 13-15, height 3. 51m)

Time	Height	Water temperature	Direction of current	Velocity of current	Note
hr min.	(m)	(°C)	(°)	(m/min.)	
1-30	2.70	Sur. 15.0 Bot. 15.0	170	18	Weather fine
2-00	2.40	Sur. 15.6 Bot. 15.4	250	25	
3-00	1.80	Sur. 15.5 Bot. 15.5	250	35	NO_3-N content Surface 22γ/L Below 2m 24γ/L
4-00	1.10	Sur. 14.9 Bot. 14.9	250	48	
5-00	0.50	Sur. 14.5 Bot. 14.5	260	45	
9-00	0.10	Sur. 14.6 Bot. 14.7	70	42	
9-30	0.25	Sur. 14.7 Bot. 14.7	70	40	
10-00	0.65	Sur. 14.8 Bot. 14.7	70	48	Current strong at water route
10-30	1.00	Sur. 15.1 Bot. 15.1	70	58	(NO_3-N content of first observation (19, July) —13γ/L)
11-00	1.30	Sus. 15.8 Bot. 15.8	70	57	
11-30	1.70	Sur. 16.0 Bot. 16.0	70	55	
21-00	2.10	Sur. 16.5 Bot. 16.5	70	52	
12-45	2.45	Sur. 16.5 Bot. 16.5	70	48	
13-25	2.65	Sur. 16.5 Bot. 16.5	75	50	
14-00	2.70	Sur. 16.6 Bot. 16.5	80	45	NO_3-N content Surface 28γ/L Below 2m 28γ/L
14-10	2.70	Sur. 16.6 Bot. 16.6	80	27	Flood
14-30	2.68	Sur. 16.5 Bot. 16.3	80	17	
15-00	2.55	Sur. 16.2 Bot. 15.8	85	11	

Table 38-1. Water temperature and specific gravity in winter at Onomichi experimental ground. (Observation by Onomichi-branch of Naikai regional fisheries research laboratory, mean of 5 yrs., observation position is X in Text-fig. 15)

Month	Decade	W. T.	Sp. gr.
Dec.	first	15.4 (°C)	1.0236 (ρ_{15})
	second	14.2	1.0236
	last	13.4	1.0240
Jan.	first	12.1	1.0240
	second	11.2	1.0240
	last	10.6	1.0240
Feb.	first	9.7	1.0238
	second	9.8	1.0240
	last	9.8	1.0242
Mar.	first	10.2	1.0241
	second	10.6	1.0242
	last	11.3	1.0242

Table 38-2. Meteorological data of Onomichi experimental ground in winter. (Observation by Matsunaga Meteorological Observatory, mean of 5 yrs.)

Month	Decade	Air temp.	Duration of solar radiation	Velocity of wind
Dec.	first	7.9 (°C)	6.3 (hrs)	1.8 (m/sec)
	second	6.5	5.8	2.5
	last	8.0	3.3	2.2
Jan.	first	4.7	4.8	2.5
	second	4.0	4.2	2.6
	last	4.6	4.4	2.7
Feb.	first	2.9	4.4	2.6
	second	4.0	3.0	2.5
	last	5.3	4.0	2.3
Mar.	first	5.9	3.8	2.2
	second	7.8	7.1	2.8
	last	7.3	5.7	2.9

Table 39. Crops of Nori at Onomichi experimental ground. (Result of the growth experiment which shows the effect of sinking Nori-hibi into water in various depths. Compare with those of Minoshima experimental ground (in Fukuyama Nori cultural ground)).

Experimental ground	Depth of sinking	Date of harvest	
		11, Jan.	29, Jan.
Onomichi	Surface	1,009 (gr)	748 (gr)
	Below 30 cm	983	1,028
	Below 100 cm	731	738
Minoshima	Surface	695	832
	Below 30 cm	715	720
	Below 100 cm	568	672

結　語

ノリの生活は海水を外囲環境として営まれているため，直接海水の物理的乃至化学的性状の影響を受ける処が大きい．即ち海水の温度・比重・塩類含量・pH・流動・透明度などによって生育を左右される．他方またその生長は体内の代謝機能の現われであるから光による影響も大きい．これら個々の環境要素のノリに対する適性条件を明らかにすることはノリの養殖を合理的に行い，技術的向上をはかる上に重要な事柄である．しかるにノリは比較的環境の変化に対する適応性乃至抵抗力の強いものであって，悪環境に遭遇しても死滅しない程度のまま生存をつづけるから（(III) に例証）環境要素の適度は他の要素の条件と相まって決まってくるものである．このような環境要素のうち海水の流動　即ち水流がノリ養殖上その漁場構成要因として重要であり，特に瀬戸内海のノリ漁場では重視すべきであることを認め（(I) 記述），しかもこの方面の研究に殆んど手がつけられていないので，水流のノリ生育に対する適度及び意義を究明しようとはかった．この研究遂行に当っても，他の環境要素特に水温・栄養塩類をもあわせて考察をほどこさなければその一面を解明し得るに過ぎないとの見解をもつに至り，これらの要素の適度をも検討しながら（(IV) (V) 記述）水流とノリ生育との関係を培養実験的に追究した．即ち培養実験的には普通の海水であれば流速 20cm/sec 前後を適度とするが，栄養分の多い場合には 10cm/sec，少い場合には 30cm/sec，水温においても高ければ速く，低ければ遅くとも生育にさし支えないことを明らかにした（(VI) (VII) 記述）．これは思うに，水流のノリに対する作用は栄養分の補給を主とするものであって海水中の栄養分の多少によってその及ぼす影響が異り，水温の高低によって代謝作用の盛衰が変るから水流の適度にも差が生じるものであろう．更に水流の意義について論及するならば，概念的には水流の作用として栄養分の補給と老廃物の排除が考えられるが，諸種の角度から実験を行い考察を施こした結果，栄養分の補給を第一義とし，老廃物の害作用はノリ細胞内から海水中に排出されて後には顕著でなく，却って炭酸消費による pH の上昇が有害であるので，その排除には栄養分補給に要するほど強い海水の流動は要しないとの推論に達した（(IX) 記述）．なお海水流動の意義は ノリ生育の初期即ち胞子着生期及び発芽期においては生育の場合とやや趣を異にし，主なものは胞子着生期には着生物（篊）への接触の機会を多くし，発芽期には栄養分の補給のほか一種の刺戟作用によって単胞子の放出並びに伝播を良好にするものであろうと考える．従ってその適度も生育の場合とはやや相違し培養実験的には前者では 7cm/sec 程度，後者では 7～25cm/sec までとなった（(VI) 記述）．勿論これらいずれの場合にも，野外においては培養実験以上に海水の流動による洗滌作用，即ち海水中の浮游物・微生物などの篊への附着を機械的に除去する作用も見のがせない．この様にして水流を主としその他の環境要素のノリ生育に対する影響を明らかにし，これによって得た知見をもとにして従来海況的な欠陥からノリの養殖は川裾に限定されているとみなされていた瀬戸内海（(I) 記述）においても，適当な水流を得れば陸水の流入のない水域が漁場として開発可能であることを実証した（(X) 記述）．なおノリの生育にとっては光の条件も重要であるが，実際の養殖上では光は漁場的要素というよりは時期の推移の上にあらわれる変化が大きく，その適度はノリの生理状態・水温・栄養塩類など他の要素の変動によって強く影響を受けるから，若し光を人為的に調整できる場合には，これらの条件もあわせて考慮しなければならない．（(VIII) 記述）．

終りにこれら互に関連してノリ生育に及ぼしている各環境要素の間の影響の関係をまとめてあらわしてみると Table 40 のようになる．これは上述の成績と年来の観察をもとにして試みた一つの案であって，複雑な生物の生命現象であるから例外的な現象も多く，また今後研究の進むにつれて修正されるべきものであるが，各環境要素の変動に対応するノリ生育状態の変化を知る一つの目安として敢えてここにかかげた．表の示す意味はある温度の漁場に

Table 40. Mutual relations of favorable conditions in water temperature, light, nutritive source and water current upon the growth of Nori.

Water temperature	Light[1)]	N-source[2)]	Water current[3)]	Growth state of Nori-fronds	
Low (4～7°C)	Weak	Abundant	Weak	Excellent	…①
		Scarce	Medium	Excellent	…②
	Strong	Abundant	Medium	Excellent	…③
		Scarce	Medium～Strong	Rather sitff	…④
Medium (7～10°C)	Weak	Abundant	Weak～Medium	Excellent	…⑤
		Scarce	Medium～Strong	Ordinary	…⑥
	Strong	Abundant	Medium	Ordinary	…⑦
		Scarce	Strong	Tends to fade	…⑧
High (10～13°C)	Weak	Abundant	Medium～Strong	Color tone rather good	…⑨
		Scarce	Strong	Color fades, and stiff	…⑩
	Strong	Abundant	Strong	Nearly declines	…⑪
		Scarce	Declines		…⑫

Note : 1) Light—— 'stong' means that of early spring; 'weak' that of winter.
2) N-source—— 'abundant' means the eutrophic condition ; 'scarce' that of the ordinary open sea water.
3) Water current——'strong' means the velocity of ca 30 cm/sec; 'medium' ca 20 cm/sec; 'weak' ca 10 cm/sec.

おける，ある時期（光であらわされる）に海水中の栄養分が多いか少いかによって水流は強くなければならぬ（強の場合），もしくは弱くともよい（弱の場合）ということをあらわそうとしたもので，更にそうあった場合のノリの呈する生育状態をも推測して示した．例えば，瀬戸内海の従来のノリ養殖場の環境は冬には⑥で，春先になると⑫となりノリが衰減する．朝鮮大也島のような場合には，冬は②で，春先にも⑧の程度となり中々衰減しないし比較的色調の良いノリを産する．東京湾では冬には⑤とみなされる．若し光線の調整が可能となり施肥が技術的に管理できるようになれば，⑨乃至⑪のような状態でかなり水温の高くなるまでノリ養殖を延ばすことができるものとなろう．勿論天然では病害の発生など他の障害があり，上記のみで律することはできないが一つの傾向を示し得るものと考える．なお附言すれば，現在これらの環境の悪化に対処し得る管理技術としては露出操作の調整が最も有効である．また各要素のノリ生育に及ぼす影響の強弱については，瀬戸内海では

水温：光：栄養分：水流＝30：10：35：25
若しくは　＝35：10：35：20

の程度の比率を目安として，環境の適否を検討してよいのではないかと考える．

筆をおくに当り，本研究の遂行について終始ねんごろなる御指導をたまわった富士川澪先生に衷心より感謝し，報文作成に際し，御教示をあおいだ森高次郎先生，御忠言をたまわった新崎盛敏博士，御協力いただいた当学部滝巌教授，小山治行助教授に深謝する。また実験

並びに試験にたづさわった旧朝鮮総督府水産試験場製造部の職員諸氏並びに佐藤孜郎・佐藤美和両氏をはじめ当学部水産化学教室の諸氏に謝意を表する．なお海況の数値について御教示にあづかった当学部西田敬三元教授，内海区水産研究所井上明・村上彰男両氏，東北大学松平近義教授，大分県豊後高田水産試験場小形国三氏，岡山県水産試験場畑宏氏，その他引用をかたじけなくした原著者の方々に心から謝辞を呈する。

（本報文は紙数の都合により論述に重点をおき実験方法の詳細乃至結果の吟味などを簡略にしたことをお詫びし，疑問があれば直接御質問たまわるようお願いします。）

SUMMARY

The laver, *Porphyra tenera*, *'nori'* in Japanese, is extensively cultivated in Japan, where dried laver, prepared in the form of thin sheets, is beloved as a delicacy and one of the most popular foods. In many coastal areas of the country, inhabitants earn important part of their livelihood by engaging in the culture industry of this seaweed. The laver farms are distributed along the Pacific coast, and generally located in bays and inlets, but especially in the Seto Inland Sea, they are limited to the estuaries at the mouths of rivers. The growth of laver is affected by such various environmental factors as water temperature, salinity, nutrient contents of sea water, etc. The author investigated into the reason why the laver farms in the Seto Inland Sea are located exclusively in estuaries by comparing the hydrographic conditions of these farms with those of the laver farms in Korea, in which country the laver farms are mostly located in those inshore waters where no stream empties. It was recognized through this investigation that, in the Seto Inland Sea, the growth of laver is controlled by water currents no less than by water temperature and nutrient contents of water.

The author then studied the effect and the optimal range of each of the important environmental factors by carrying out culture experiments mainly in the laboratory and partly in the field. The results of these studies are summarized below.

(1) In the Seto Inland Sea, environmental conditions of the offshore waters are unsuitable for the growth of laver, because water temperature is relatively high (about 10°C in the winter or the peak season of laver's growth) as compared with the optimal temperature range for this seaweed (i.e., 6–10°C), and because the concentrations of nutrients in sea water are rather low and very changeable (Tables 1,3,4,5, and 6). In contrast, in estuarine waters, water temperature drops in the winter, water is rich in plant nutrients which are supplied by the river water, and moreover, water currents of favorable velocities are developed (Tables 7, 8, 9 and 10). It is in these waters that laver farms are located.

(2) When water temperature is high, growth of laver is greatly affected by water current. Water currents transport nutrients to, and remove excreted metabolites from laver fronds.

(3) In estuaries laver fronds are exposed to changing salinities. When laver fronds are experimentally exposed to a sudden change of salinity, their growth is accelerated if the time of exposure is very short (less than 15 min.), but retarded if exposure lasts

longer (Table 12 and Text-fig. 3).

(4) It was found, through the transplanting experiments from the Seto Inland Sea to Korea and between the localities in Korean waters, that laver is rather tolerant to the changes of environmental conditions (Tables 13 and 14).

(5) The velocity of water current suitable for the growth of laver ranges from 15 to 30cm/sec, but the optimal velocity varies in relation to other environmental factors as well as the condition of laver frond (Table 17) as indicated below.

(i) Optimal range of current velocity is narrow for young fronds, but becomes wider for older fronds (Table 17). When fronds are growing thick, they require rapid currents of velocities nearly 30 cm/sec (Tables 18 and 19).

(ii) 7 cm/sec is the most suitable current velocity for the spores to attach. After attachment, however, growth is equally good within the velocity range from 7 to 25 cm/sec (Text-figs. 7 and 8).

(iii) Rapid water currents have ill effects upon the growth of laver frond at low salinities; at the specific gravity (ρ_{15}) of 1.018, optimal velocity is 20cm/sec (Table 20).

(iv) Optimal current velocity for the growth of laver varies very markedly according to the nutrient contents of sea water. It is about 20cm/sec in the ordinary sea water, but greater velocities (nearly 30cm/sec) are required if the concentrations of nutrients are lowered by diluting ordinary sea water with the NaCl solution of the same salinity. If ordinary sea water is enriched by adding nitrates and phosphates, water flow of 15cm/sec is sufficient for the best growth of laver. In the sea water enriched by adding ripe manure, laver fronds grow equally well over the velocity range from 5 to 20 cm/sec (Table 21).

(v) At favorable temperatures (below 10°C), the range of suitable current velocity is wide (i. e., from 10 to 30cm/sec). When water temperature is relatively high (10～14°C), especially when nutrients are not available in sufficient amounts, rather rapid current (30cm/sec) is need. Laver fronds do not survive longer than 2 weeks at the water temperatures over 16°C (Text-fig. 9).

(6) Growth of laver frond is affected also by light intensity. The growth increases with the increase of light intensity up to 10,000 lux, although the rate of the increase differs according to the light source (i.e., the spectrum of incident light). However, it seems that there exists an upper limit of suitable light intensity. This is inferred from the results of the growth experiment in which laver was cultured at different water depths throughout the growing season: the growth was best near the surface in December and January, but the zone of best growth moved downwards as the sun light became stronger with the further progress of the season (Tables 23, 24 and 25).

(7) The roles that water current plays in controlling the growth of laver are considered on the basis of the results of various experiments.

(i) As was shown in Section VII of the text and mentioned in summary (5) (iv), water current of nearly 30cm/sec is necessary for the maximum growth of laver frond if concentrations of plant nutrients are low in sea water, while a current only 5cm/sec is sufficient if the concentrations of nutrients are high. It seems therefore that the lower limit of the current velocity that is necessary for the maximum growth

of the frond depends on the nutrient contents of sea water. On the other hand, it seems that there is an upper limit of current velocity which the laver frond can tolerate physiologically. Water currents faster than this limit do not have favorable effect upon the growth of the frond (Text-figs. 12 and 13).

(ii) According to the results of the experiments in which laver fronds were cultured in the medium which presumably contained the external metabolites of this seaweed in excessive concentrations, it appears that the metabolic wastes of the laver, once liberated into the sea water, do not have any harmful effect upon the growth of the frond (Table 26). The culture medium employed in this experiment was the one in which laver fronds had been cultured in high densities; after these fronds were removed, the medium was enriched by adding nitrate and phosphate and used for the experiment.

(iii) When laver fronds are cultured without renewing the culture medium, their growth is retarded. The harmful effect of such a culture condition is ascribable to the deficiency of plant nutrients, the rise of pH and the growth of bacteria and other microorganisms, rather than to the accumulation of laver's metabolic wastes. The rise of pH, which is particularly remarkable (Text-fig. 11), is probably due chiefly to the consumption of carbon dioxide as a result of photosynthesis rather than to alkaline substances which laver fronds may excrete (Table 29).

(iv) It is concluded from the foregoing evidences that, from the viewpoint of the growth of laver, the major function of the water current is to transport dissolved plant nutrients to the fronds, that current velocities of 10～30cm/sec are needed for this function to be fulfilled, and that water currents of such velocities automatically accomplish such other beneficial functions as checking the rise of pH, removal of metabolic wastes, etc.

(8) It was deduced from the foregoing results that in the Seto Inland Sea commercial laver culture need not be limited to estuarine waters and that other parts of the Sea can also be utilized as laver farms if there is suitable water current. In order to test the validity of this idea, laver culture was conducted on an experimental scale in the Onomichi Suidô (Text-fig. 15) where the inflow of fresh water is very limited and commercial laver culture had never been attempted. According to our preliminary survey, the meteorological and hydrographic conditions of this strait did not appear unsuitable for the growth of laver. The results of this experimental culture indicated, as expected, that laver can be cultured commercially in this strait (Table 39).

(9) The over-all results of the present study are presented in a condensed form in Table 40. This table shows how the variations in the four important environmental factors (i.e., water temperature, dissolved nutrients, illumination and water current) affect such qualities of the laver frond as color, luster, toughness, flavor, etc. In addition, the relative importances of these four environmental factors are evaluated from the viewpoint of the growth of laver fronds, and the result is expressed in the form of the ratio as below:

water temperature : illumination : dissolved nutrients : water current

$$= 30 : 10 : 35 : 25 \quad \text{or} \quad 35 : 10 : 35 : 20$$

It is hoped that this ratio, although it is a crude approximation, will serve as a guide when one tries to select sites suitable for laver culture.

(XIII) 参　考　文　献

(1) 岡村金太郎 (1909). 浅草海苔.

(2) 殖田三郎 (1952). 海苔養殖読本.

(3) 水産養殖談話会 (1957). 水産増殖，**4** 巻 4 号，ノリ特集号.

(4) SMITH, G. H. edt. (1951). Manual of phycology.

(5) FOGG, G. E. (1953). The metabolism of algae.

(6) HARVEY, H. W. (1955). The chemistry and fertility of sea water.

(7) 水産試験場 (1931). 水産試験成績総攬.

(8) 日本海洋学会 (1955). 海洋観測指針.

(9) 中野治房 (1933). 植物生理及生態学実験法.

(10) 須田晥次 (1938). 海洋科学.

(11) 中野猿人 (1940). 潮汐学.

(12) 岸春雄 (1944). 海の化学.

(13) 野口弥吉・菅原友太 (1954). 葉面撒布に関する研究.

(14) 松井秀三郎 (1916). 水講研究報告，**12** (3) : 29～35.

(15) 斎藤光雄 (1924). 水研誌，**19** (5) : 184～187.

(16) 藤森三郎 (1926). 有明海干潟利用研究報告，: 445～527.

(17) 内藤新吾 (1927). 水研誌，**22** : 286～287.

(18) 殖田三郎 (1929). 水講試報，**24** : 5.

(19) 広島県水試 (1932). 神戸海時 2, 3, 1 号:545～582.

(20) 宇田道隆他 (1933). 水試研報:137～164.

(21) 富士川澪他 (1929). 朝水試報 **4** : 16～89.

(22) 〃 (1930). 〃 **5** : 32～125.

(23) 〃 (1932). 〃 **7** : 1～135.

(24) 〃 (1933). 〃 **8** : 1～131.

(25) 三重水試 (1936). 浅草海苔発生生育調査.

(26) 松江吉行 (1936). 水会報 **7** (1) : 35～62.

(27) 〃 (1936). 〃 **7** (2) : 94～100.

(28) 東京水試 (1937). 品川湾水産調査報告.

(29) 髙山活夫 (1937). 水研誌，**32** : 66～69.

(30) 倉掛武雄 (1941). 全南水試報，14.

(31) 木下虎一郎 (1947). 水産科学叢書，第2輯の1.

(32) 神戸海洋気象台 (1952). 瀬戸内海の気象と海象.

(33) 佐野　孝 (1952). 東北海区水研，報 **4** : 243～261.

(34) 〃 (1955). 〃 **5** : 64～78.

(35) 西田敬三 (1953). 日本海及その隣接海域の海洋調査成績，No. 1.

(36) 〃 (1955). 〃 No. 2.

(37) 野沢恰治 (1953). 水産増殖，**1** (1) : 34～36.

(38) 〃 (1955). 日水誌，**20** (10) : 878～880.

(39) 大分水試 (1955). 大分県水試高田分場業報 (昭30年度).
(40) 岩崎英雄・松平近義 (1954). 日水誌，**20** (2) : 112～119.
(41) 〃 〃 (1954). 〃 **20** (5) : 380～385.
(42) 愛知水試 (1954). 愛知県水試業務報告.
(43) 花岡資・古川厚(1956). 日水誌，**22** (4) : 213～219.
(44) 敦賀花人・新田忠雄(1957). 内海区水研報，**10** : 37～41.
(45) 木下祝郎・寺本賢一郎 (1958). 日水誌，**24** (5) : 326～329.
(46) 岩崎英雄・松平近義 (1958). 〃 **24** (6/7) : 398～401.
(47) MATSUDAIRA, C. and IWASAKI, H. (1953). Tôhoku J. Agr. Res., **3** (3) : 27～291.
(48) IWASAKI, H. and MATSUDAIRA, C. (1756). Jbid. **7** (1) : 65～83.
(49) HARVEY, H. W. (1999). J. Mar. Biol. Assoc., **23** : 499.
(50) MUNK, W. H. and RILEY, G. A. (1952). J. Mar. Res., **11** (23) : 215～240.
(51) 内海区水研 (1952～1956). 瀬戸内海水産連絡調査要報，Nos. 11～17.
(52) 佐藤孜郎・佐藤美和・伊藤啓二・松本文夫 (1959). 日水誌，**25** (10～12) : 661～666.

A Characteristic Property of Whale Oils Concerning the Absorption of Gases III

On the Absorption of Oxygen by Whale Oils

Yasutaro ISHIKAWA

Department of Fisheries, Faculty of Fisheries and Animal Husbandry, Hiroshima University, Fukuyama

(Text-figs. 1-9; Tables 1-4)

INTRODUCTION

In recent publications[1),2)], ISHIKAWA has reported on the absorption of carbon dioxide and of nitrogen by a variety of oils and oily substances, including sperm waxes and vegetable oils. In these papers, it has been indicated that oils and oily matters can absorb greater amount of the gases than water does: oils and oily matters absorb some twice as much carbon dioxide, and 5 to 7 times as much nitrogen as the water, at the same pressure and temperature. As for the absorption rate, it has been pointed out that the earliest absorption rate for carbon dioxide is generally smaller in oils than in water, but some waxes show the earliest absorption rate to be comparable with that in water. With the absorption of nitrogen, the majority of the oily materials investigated surpasses water in the absorption rate at early stages. The most remarkable is the fact that whale waxes are greatly superior in this property, compared with vegetable oils and other materials.

These findings have led me to some speculation, which is related to the respiration of animals. Oily substances (especially sperm waxes), which are capable of absorbing carbon dioxide and nitrogen in greater amount and, in some cases, at quicker rates as compared with water, might be playing a role in the respiratory economy of some animals——whether in the transport of the gases between tissues, or in the gas-exchange through body surface. As already has been suggested in the earlier paper,[1)] adequate explanation has not been given to the presence of a large amount of wax only in sperm whale, which is known to be able to stay submerged much longer than other whales.

The present paper is concerned with the absorption of oxygen by various oily materials and water, and offers the results of measurements on solubility and absorption rate at constant temperature of 35°C. and at variable pressures.

Since the classical study of HENRY who was followed by BUNSEN and OSTWALD, the solubility of various gases in liquid solvents has been studied by numerous investigators. However, the measurements have been made chiefly with water as a solvent. Works with organic solvents are rather wanting. J. HORIUCHI[3)] studied the solubility of hydrogen, nitrogen and 11 other gases in numbers of organic solvents of relatively low molecular weights.

As far as my deficient knowledge is concerned, works on the solubility of gases in

oils, particularly those regarding the absorption rates in gas-liquid systems, are scarce. A. R. BEHNKE[4], however, studied the solubility of several gases in olive oil, for the medical purpose. According to his paper, olive oil can dissolve 4.9 times as much oxygen as the water does at 38°C. and ordinary pressures. P. S. SCHAFFER and H. S. HALLER[5] also investigated the solubility of hydrogen, oxygen, air, nitrogen and carbon dioxide in butter oil, cottonseed oil and lard.

EXPERIMENTAL

Material.— The materials for the present study were the same as those used in the previous work[2] of this series: namely, sperm oil from *spermaceti*, sperm whale body oil, blue whale oil, olive oil, camellia oil, castor oil, liquid paraffin and distilled water. The first two are characterized by containing a large quantity of wax, but the other oils have no such peculiarity and consist of usual glycerides as seen from Table 1.

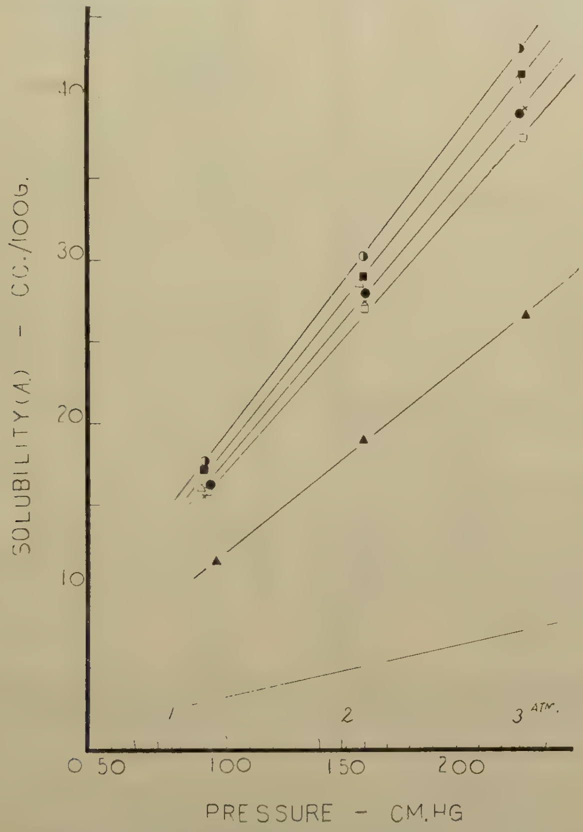
Table 1. Physical and chemical properties of the materials.

Material	Specific gravity (D^{35}_{4})	Refractive index (n^{20}_{D})	Acid value (mg.KOH/g.oil)	Saponifn. value (mg.KOH/g.oil)	Iodine value (Iodine %)	Unsaponifd. matter (%)
Sperm oil	0.865	1.4526 (n^{40}_{D})	1.10	147.4	59.7	37.5
Sperm whl. body oil	0.866	1.4567 (〃)	0.25	138.5	80.3	31.8
Blue whl. oil	0.906	1.4730	0.83	196.1	112.9	0.52
Olive oil	0.908	1.4713	0.052	195.3	94.3	0.52
Camellia oil	0.903	1.4684	1.32	193.0	75.3	0.28
Castor oil	0.951	1.4790	0.70	188.7	77.3	0.35
Liquid paraffin	0.873	1.4813	—	—	—	—
Dist. water	0.994	1.3330	—	—	—	—

The three kinds of whale oils were kindly supplied by the Taiyo Whaling Co., Ltd.; the camellia oil was extracted from the seeds of camellia (*Camellia japonica* L.) in our laboratory; the other oils and liquid paraffin were commercial preparations of Japan Pharmacopoia grade. Before and during the experiment, sufficient care was taken for preserving the materials: they were filled with nitrogen gas and kept in the cold storage. Physical and chemical properties of the materials are given in Table 1.

Apparatus and Procedure. —— The apparatus and procedure employed were thoroughly detailed in one[1] of the preceding reports, and only brief description is given below. Throughout the present study, every measurement was carried out with 100 g. of the materials at constant temperature of 35 ± 0.05°C. (checked with an electric resistance thermometer). The temperature control had to be very rigid, because of the great sensitivity of volume change of the gas to changing temperatures. This was accomplished by means of a thermo-regulator connected with an electronic tube relay. With every material, measurements were made at three pressure-levels, starting with pressures a little higher than 1, 2 and 3 atm. respectively. The deaeration preceding every absorption test was performed in the same way as was described in the earlier paper[1]. That is, the major part of the deaeration took place in a boiling water bath at a reduced

pressure below 1 mm. Hg during a period more than twice as long as it took in the subsequent absorption test. Following this, the material in a pressure-bottle was left standing at the same reduced pressure in a large thermostat (ca. 70 l.) at 35 ± 0.05°C. for an hour, for the purposes of permitting the thermal equilibrium between the inside and the outside of the bottle and effecting further deaeration. Oxygen gas was then introduced into the pressure-bottle from a gas reservoir, which had been maintained at 35 ± 0.05°, until a desired reading of the mercury manometer was obtained. The manometer employed was of an open type, 2.2 m. in height, graduated at mm. intervals and equipped with a magnifying lens.

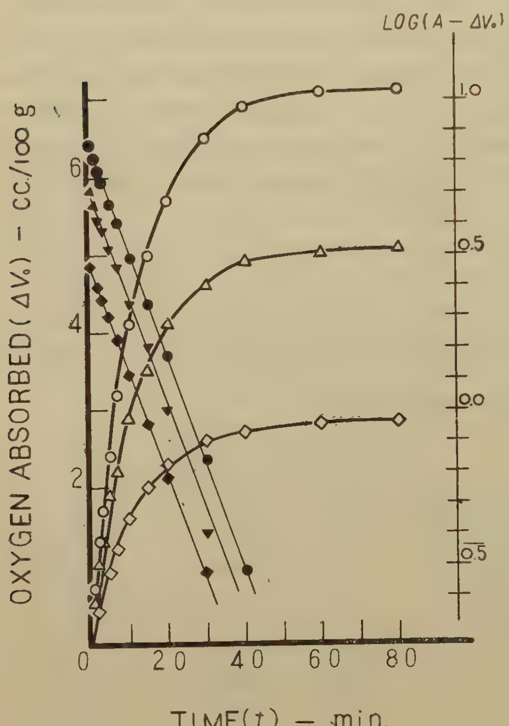


Text-fig. 1. Relation of solubility of oxygen to pressure.—— From top to bottom: ◐ sperm oil; ■ sperm whale body oil; △ liquid paraffin; ● olive oil; × blue whale oil; □ camellia oil; ▲ castor oil; ○ distilled water.

The mechanical arrangements to effect the constant movement of the pressure-bottle and other experimental conditions were already described in the previous paper.[1] The absorption velocity and other data reported in this paper are therefore completely comparable with those in the earlier works.[1),2)]

Computation of the Absorbed Volume of the Gas. —— In the present study as well as in the earlier papers,[1),2)] ΔP, the decrease in pressures caused by absorption, was punctually measured at constant volume and constant temperature. So the absorbed

volume of the gas was not directly known from the experiment. This volume was computed from the value of ΔP in the following manner.



Text-fig. 2. Plot of ΔV_0 and log $(A-\Delta V_0)$ against t (**Distilled water**).—— Pressure levels (in mm. Hg) from top to bottom: 2364.9～2354.2 (circles), 1650.1～1642.2 (triangles), 929.2～924.9 (squares).

Suppose that the pressure be kept at an initial constant value throughout the whole process of an absorption test by some device. Then the decrease in volume will occur at this constant pressure, instead of the decrease in pressure at constant volume. This assumptive decrease in volume of the gas phase should represent the volume of the gas absorbed by a liquid material.

If we write P and $(P-\Delta P)$ for the pressure at time 0 and t respectively, and V, for the efficient volume of the gas phase, $(P-\Delta P)V$ must be equal to $P(V-\Delta V)$ from the well-known relation as $PV=$ const. for a given amount of a gas, where ΔV represents the decrease in volume of the gas at pressure P. Thus we have

$$\Delta V=\frac{V}{P}\Delta P.$$

Furthermore we can write

$$\Delta V_0=\frac{T_0}{T}\frac{1}{P_0}V.\Delta P,$$

where ΔV_0 is the decrease in volume of the gas phase (i. e., the absorbed volume of the gas) reduced to standard state, $T_0=273°$ *K.*, $T=308°$ *K.* (35°C.), $P_0=760$ mm. Hg and V is the real volume of the gas phase, that is, the whole internal capacity of the pressure-bottle (estimated at 684 ± 0.5 cc., including the inner space of rubber and glass tubings) minus the volume* of the liquid material taken into the bottle.

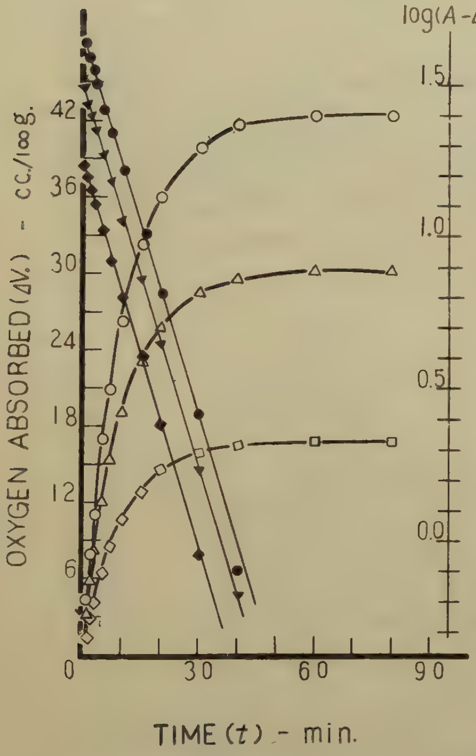
In the last formula, $\frac{T_0}{T}\frac{1}{P_0}$ is the common constant independent of the materials, and V is definite for a fixed amount of a given material. Thus we have ΔV_0 by multiplying ΔP by these constant factors, for a given amount of a material.

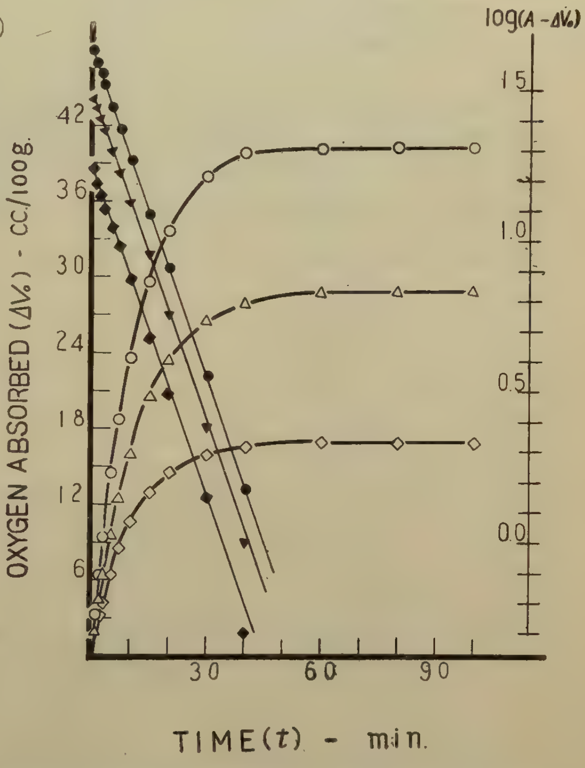
RESULTS

Solubility of Oxygen. —— Figure 1 gives the solubility of oxygen plotted against

* It must be considered that some volume expansion (dilatation) of the liquid phase will occur upon absorption of the gas. However, its quantity is probably so small as to be neglected in the calculations mentioned above.

pressure (final pressure) for various materials. The solubility is expressed in terms of the volume (in cc.) of the gas per 100g. of a solvent. Each solubility value was determined from an absorption curve (cf. Figures 2–9), which was traced experimentally till the saturation was nearly reached, by extrapolating the curve to the infinite value of time and by applying further such graphical operations as will be later noted. It is clear from Figure 1 that the solubility is the linear function of pressure in every material, i.e., it obeys Henry's law on the diluted solution of gas. So, in the present experiments, the relationship can be stated by $A=cP$, where A is solubility, P, pressure and c, the pressure-gradient of solubility.





Text-fig. 3.(left) Plot of ΔV_0 and log $(A-\Delta V_0)$ against t (**Sperm oil**).—Pressure levels (in mm. Hg) from top to bottom: 2365.7～2301.5 (circles), 1649.3～1603.7 (triangles), 931.9～906.5 (squares).

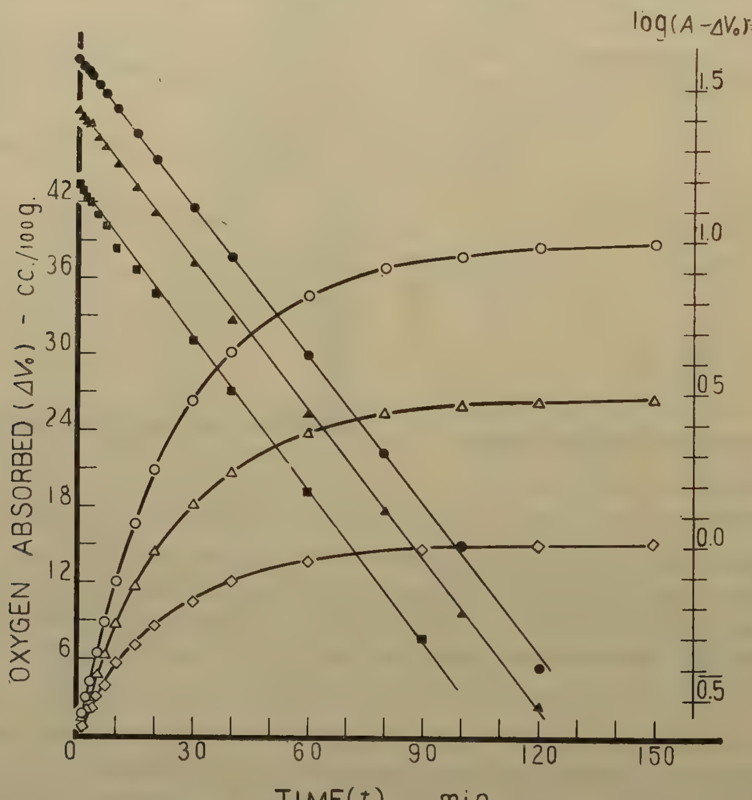
Text-fig. 4.(right) Plot of ΔV_0 and log $(A-\Delta V_0)$ against t (**Sperm whale body oil**).—Pressure levels (in mm. Hg) from top to bottom: 2365.0～2302.5 (circles), 1653.3～1609.5 (triangles), 932.9～907.3 (squares).

For gases of smaller solubilities such as oxygen and nitrogen, the linear relationship between solubility and pressure is likely to hold upto fairly high pressures. As for the case at very high pressures, J. BASSET and M. DODÉ[6] reported the existence of a maximum in the solubility-pressure curve, in studying the absorption of nitrogen in water at ultra-high pressures from 500 to 4,500 kg/cm^2. They were followed by I. R. KRICHEVSKY,[7] who also ascertained the presence of a solubility maximum in his investigation.

Table 2. Solubility of oxygen in various materials

Material	A/P (cc./100 g., cm. Hg)		
	O_2	N_2*	CO_2*
Sperm oil	0.190	0.121	1.76
Sperm whale body oil	0.192	0.117	1.59
Blue whale oil	0.171	0.098	1.53 (Fin whale oil)
Olive oil	0.175	0.110	1.60
Camellia oil	0.167	0.093	1.53
Castor oil	0.116	0.072	1.40
Liquid paraffin	0.179	0.098	1.10
Distilled water	0.0315	0.0175	0.78

Table 2 shows the values of A/P for oxygen in comparison with those for nitrogen and carbon dioxide. It will be seen from both Figure 1 and Table 2, that no remarkable difference exists between the solubilities of oxygen in various oily materials including liquid paraffin, and that the solubility in water, however, differs greatly therefrom.



Text-fig. 5. Plot of ΔV_0 and log $(A-\Delta V_0)$ against t (**Blue whale oil**).——Pressure levels (in mm. Hg) from top to bottom: 2365.7~2307.7 (circles), 1643.9~1604.3 (triangles), 933.9~911.3 (squares).

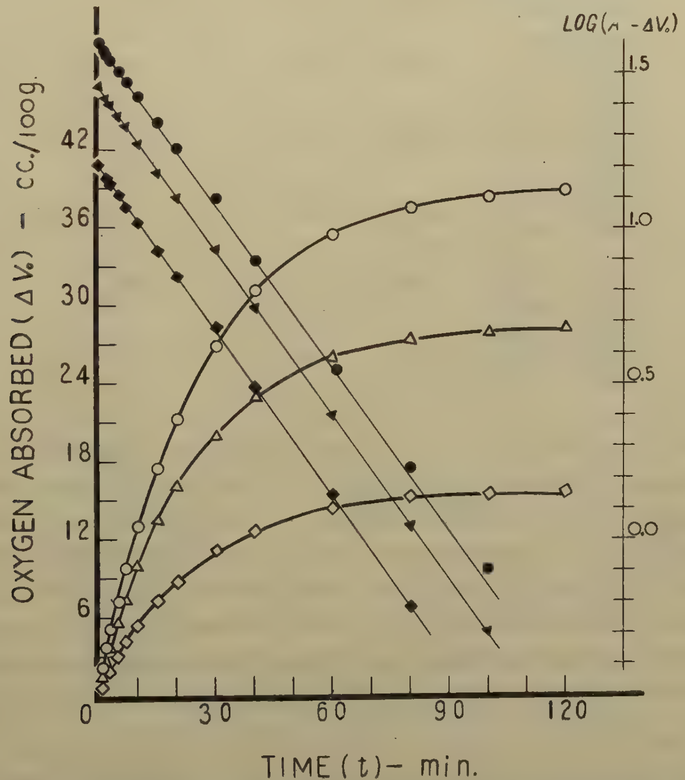
* Computed from the earlier papers[1), 2)].

The value of A/P ranges from 0.17 to 0.19 cc./100g., cm. Hg in the oily materials except castor oil (the value in which is 0.116), wihle the value is 0.0315 cc./100 g., cm. Hg in water. Namely, the oily materials in general can absorb, at every tension and at 35°, 5.5 to 6 times as much oxygen as the water does.

Some comparison may be made here. From Table 2, nitrogen gas is 5.5 to 7 times as soluble in the oily substances as in water, with the exception of castor oil. The oil-water solubility ratio of nitrogen is therefore slightly greater than that of oxygen in all the cases. On the other hand, the solubilities of carbon dioxide in oily substances, taking the solubility of the gas in water as unity, are far smaller, ranging from 1.7 to 2.0.

Another comparison can be made transversely in Table 2. The values of the solubility ratio of the three gases (CO_2 : O_2 : N_2) in various oily materials are as follows: sperm oil (14.5: 1.57: 1); sperm whale body oil (13.6: 1.64: 1); blue whale oil (15.6: 1.74: 1); olive oil (14.5: 1.59: 1); camellia oil (16.5: 1.80: 1); castor oil (19.4: 1.61: 1); and liquid paraffin (11.2: 1.83: 1). It may be said that the ratio averages 15: 1.7: 1 in the oily materials, excluding castor oil and liquid paraffin. Whereas the solubility ratio of the three gases is 45: 1.8: 1, in water.

In summary, the following points have been clarified on the solubility of gases: (1) In every material examined, the solubility of oxygen is directly proportional to the pres-



Text- fig. 6. Plot of ΔV_0 and log $(A-\Delta V_0)$ against t (**Olive oil**).—— Pressure levels (in mm. Hg) from top to bottom: 2357.8~2299.5 (circles), 1653.0~1610.7 (triangles), 927.2~903.7 (squares).

sure, at such pressures as were dealt with in this work. And this is also the case with nitrogen and carbon dioxide. (2) The oil-water solubility ratio of oxygen is slightly smaller than that of nitrogen in all the materials studied. (3) The solubility ratio of the three gases in the one oily material is conserved almost invariably in the other oily materials, in accordance with the classical view of JUST[8]. (4) The value of this ratio is greatly varied in water, chiefly in the point of the solubility of carbon dioxide.

The extraordinary great relative solubility of carbon dioxide in water may be ascribed to the fact that carbon dioxide can easily undergo hydration and the hydrated form is readily soluble in water.

Table 3. Values of α and $\alpha A/P$ for oxygen in various materials

Material	Pressure-level (mm. Hg)	α (min^{-1})	$\alpha A/P$ (cc./100 g., cm. Hg, min.)	$\alpha A/P$ for N_2** (cc./100 g., cm. Hg, min.)	$\alpha' b/P$ for CO_2** (cc./100 g., cm. Hg, min.)
Water	2364.9～2354.2* 1650.1～1642.2 929.2～924.9	0.083	2.61×10^{-3}	2.65×10^{-3}	540×10^{-3}
Sperm oil	2365.7～2301.5 1649.3～1603.7 931.9～906.5	0.097	18.4 〃	18.6 〃	540 〃
Sperm wh. body oil	2365.0～2302.5 1653.3～1609.5 932.9～907.3	0.082	15.7 〃	13.3 〃	440 〃
Blue whale oil	2365.7～2307.7 1643.9～1604.3 933.9～911.3	0.038	6.50 〃	7.94 〃	300 〃 (Fin whale oil)
Olive oil	2357.8～2299.5 1653.0～1610.7 927.2～903.7	0.041	7.18 〃	6.16 〃	140 〃
Camellia oil	2365.0～2309.7 1652.3～1612.3 932.2～908.6	0.036	6.01 〃	3.26 〃	100 〃
Castor oil	2366.0～2327.5 1642.3～1615.0 977.4～960.8	0.010	1.16 〃	0.55 〃	45 〃
Liquid paraffin	2363.8～2301.7 1650.8～1608.2 933.4～910.0	0.019	3.40 〃	2.06 〃	76 〃

Absorption Velocity of Oxygen.—— Figures 2 to 9 give the oxygen absorption curves in various materials at different pressure levels. Every diagram comprises not only $\Delta V_0 - t$ curves but also $\log(A-\Delta V_0)-t$ curves. In every Figure, each equivalent pair of ΔV_0 and $\log(A-\Delta V_0)$ is represented by hollow and solid symbols similar in shape. Here A denotes the solubility of the gas in a liquid material. The value of A was determined as follows (cf. previous paper[2]). The first estimated value of A was obtained from a $\Delta V_0 - t$ curve (which was determined as far as the saturation was almost reached). However, if this value were taken too small, the curve of $\log(A-\Delta V_0)$ obtained will show

* In the case of water, the values of pressures indicated here, are of the partial pressures of oxygen, namely, the saturated vapor pressure of dist. water at 35° (42 mm. Hg) was subtracted from total pressure.

** Calculated from the earlier reports[1)2)].

a tendency to bend downwards more and more with increase of t, and *vice versa*. By utilizing this tendency, one could find the proper value of A. The values of A which already appeared in the preceding section were so determined.

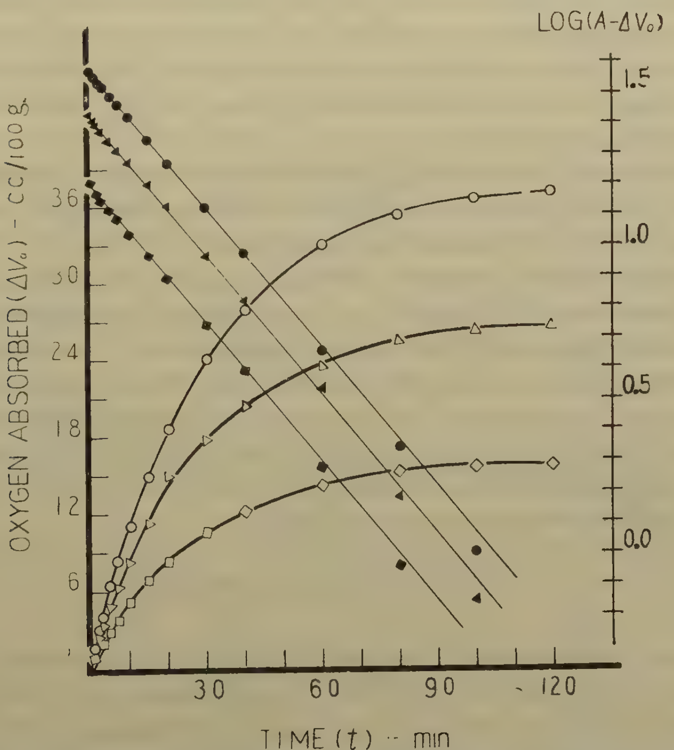
It will be seen from Figures 2 to 9 that the following equation holds for every series of measurements:

$$\Delta V_0 = A(1-e^{-\alpha t}). \qquad (1)$$

The value of α was computed for each curve by the *method of averages*, using the formula derived from Equation (1),

$$\alpha = 2.303 \frac{n \log A - \sum_1^n \log(A-\Delta V_0)}{\sum_1^n t}. \qquad (2)$$

Thus we had three different values of α for each material, corresponding to the three pressure levels. However, the three values of α obtained within a given material were found almost much the same, irrespective of the pressure levles. At least, we did not find any correlation between the magnitude of α and pressure level. For this reason, a single value of α was shown for each material in Table 3.



Text-fig. 7. Plot of ΔV_0 and log $(A-\Delta V_0)$ against t (**Camellia oil**).—— Pressure levels (in mm. Hg) from top to bottom: 2365.0∼2309.7 (circles), 1652.3∼1612.3 (triangles), 932.2∼908.6 (squares).

Differentiation of Equation (1) gives

$$\frac{d}{dt}(\Delta V_0)=\alpha(A-\Delta V_0)\text{.......................... (3)}$$

It states that the absorption velocity is proportional to α, as well as to the solubility A (which is characteristic of a given combination of solute and solvent at a given pressure and temperature) minus the volume of the gas absorbed up to the time t.

Therefore, the value of $\alpha A/P$ is of importance in bròad comparison of the early absorption rate in various liquid materials. As a matter of fact, it represents the initial absorption velocity itself. With progress of time, the discrepancy between this value and true absorption rate becomes greater. However, we are particularly interested in the absorption rate at the early stages, when we inquire into whether the oily matters in animal tissues can possibly be linked into the system of gas exchange. In Table 3, the values of α and $\alpha A/P$ for oxygen are given in comparison with those of $\alpha A/P$ for nitrogen and $a'b/P$ (to be explained later) for carbon dioxide.

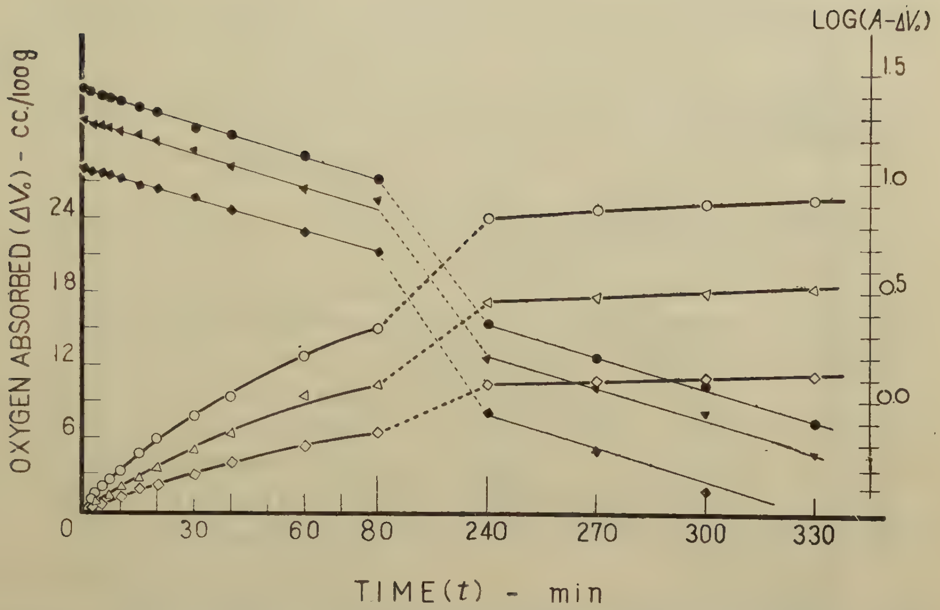
In preceding section, it has been pointed out that the solubility of oxygen does not differ so greatly in different oils and oily matters, though it is markedly smaller in water. On the contrary, it can be seen from Table 3 that the rate of oxygen absorption differs greatly among the oily substances. α is great in the decreasing order of sperm oil, water, sperm whale body oil, olive oil, blue whale oil, camellia oil, liquid paraffin and castor oil. This orderly relationship holds good with regard to $\alpha A/P$ as well, except that water falls in its rank from the second to the last but one. $\alpha A/P$ for sperm oil (the greatest) is some 16 times as great as that for castor oil (the smallest), and about 7 times as great as that for water.

The aforementioned order regarding the initial absorption rate ($\alpha A/P$) for oxygen coincides with the order concerning the $\alpha A/P$ for nitrogen, except that the ranks of blue whale oil and olive oil are reversed. $\alpha A/P$ for oxygen is 6.50×10^{-3} in blue whale oil and 7.18×10^{-3} in olive oil, whereas $\alpha A/P$ for nitrogen is 7.94×10^{-3} and 6.16×10^{-3}, respectively in the two oils. However, it seems that further investigations are necessary in order to determine whether this inversion is characteristic of the two oils in question.

With carbon dioxide, the earliest absorption rate ($a'b/P$) is great in the order of water, sperm oil, sperm whale body oil, fin whale oil, olive oil, camellia oil, liquid paraffin and castor oil. This order is in agreement with that of $\alpha A/P$ for nitrogen, except that water ranks first instead of sixth (cf. Table 3). In the case of carbon dioxide, we have used the following formula in lieu of Equation (3),

$$\frac{d}{dt}(\Delta V_0)=a'bt^{b-1}\text{.......................... (4)}$$

Consequently, it is not possible to compare the initial absorption rates of the three gases in terms of $\alpha A/P$. However, in Formula (4) $a'b$ represents the absorption rate when $t=1$; that is, it represents the absorption rate one second after the outset, if the second is used as the unit of time. So that, broad comparison can be made between the values of $a'b/P$ and $\alpha A/P$, although the former is of course somewhat smaller than the latter.



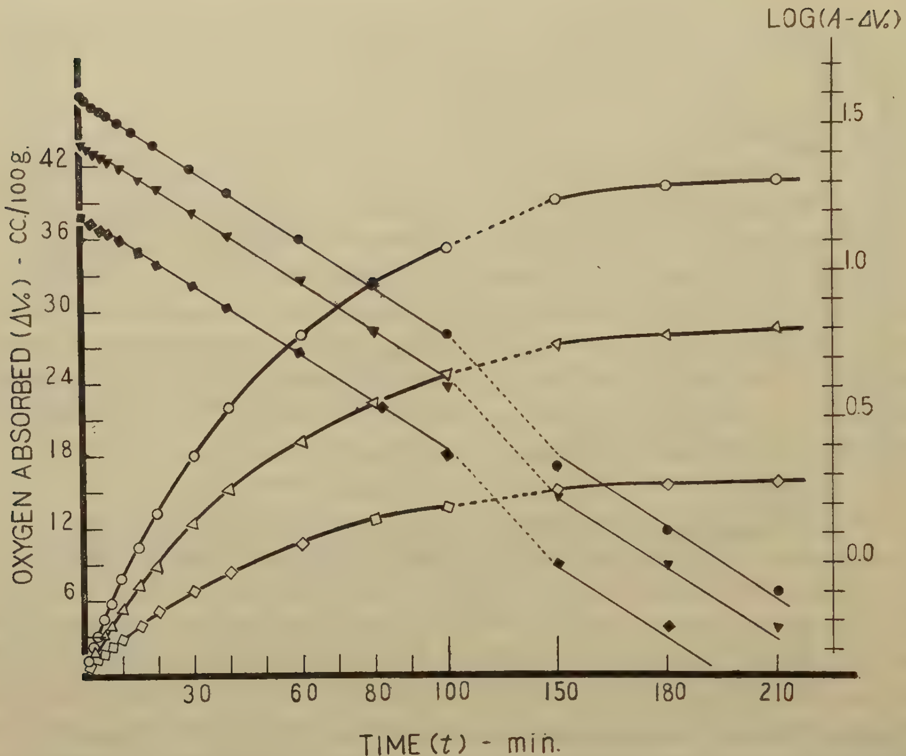
Text-fig. 8. Plot of ΔV_0 and $\log(A-\Delta V_0)$ aginst t (**Castor oil**). —— Pressure levels (in mm. Hg) from top to bottom: 2366.0~2327.5 (circles), 1642.3~1615.0 (triangles), 977.4~960.8 (squares).

Finally, if we call for the present, both $\alpha A/P$ and $a'b/P$ "early absorption rate", neglecting a minute difference between them, the following important conclusions are obtained from Table 3: (1) early absorption rate for oxygen nearly agrees with that for nitrogen in size in most of the materials, and (2) early absorption rate for carbon dioxide is of a very different order: it is 20 to 30 times as great as that for oxygen or nitrogen in most of the oily matters, and 200 times as great, in water.

Occurrence of Oxidation —— It is interesting to know whether the oils were oxidized in the course of the absorption tests. The absorption tests reported in this paper were carried out under such conditions that the oil was exposed to the oxygen atmosphere of 1–3 atm. at 35° for a certain period of time (liquid paraffin, 240 min.; castor oil, 360 min.; and the others, 80 to 180 min.). Throughout the period of exposure, the oils were subjected to constant shaking.

Table 4. Change of acid value and peroxide value of the oily materials

Material	Acid value (mg. KOH/g. oil)		Peroxide value (mg. mol O_2/1000 g. oil)	
	Before exposure	After exposure	Before exposure	After exposure
Sperm oil	1.10	0.93	12.03	12.58
Sperm whl. body oil	0.25	0.27	12.24	12.36
Blue whale oil	0.83	1.02	6.30	8.20
Olive oil	0.052	0.15	10.40	11.25
Camellia oil	1.32	1.50	6.47	7.20
Castor oil	0.70	0.81	3.80	4.75



Text-fig. 9. Plot of ΔV_0 and log $(A-\Delta V_0)$ against t (**Liquid paraffin**).——Pressure levels (in mm. Hg) from top to bottom: 2363.8～2301.7 (circles), 1650.8～1608.2 (triangles), 933.4～910.0 (squares).

The oxidation experiments were made as follows: A hundred grams of the material in the pressure-bottle were exposed to oxygen atmosphere of 236–237 cm. Hg, for three hours (in castor oil, 6 hrs.) at 35°, with the bottle constantly shaken. These conditions are almost identical with those of the absorption tests, taking the upper limits of the pressure and period. Before and after the exposure determination of the acid value and peroxide value was made with each material. Prior to the measurement of peroxide value, deaeration was undertaken at room temperature, until bubbles of gases were not appreciable.

It will be seen from Table 4 that acid value was scarcely changed in any of the materials. As for peroxide value, a considerable increase occurred in the blue whale oil; a little increase in olive oil, camellia oil and castor oil; and scarce increase in sperm oil and sperm whale body oil. From these results, it is inferred that oxidation may have taken place to some extent in our absorption tests. However, there is left much to be learnt in order to draw any definite conclusion on this problem.

SUMMARY

1) Absorption of oxygen was studied with eight kinds of materials, i.e., distilled water, sperm oil, sperm whale body oil, blue whale oil, olive oil, camellia oil, castor oil and liquid paraffin.

2) Decrease in pressure, ΔP, caused by absorption was measured punctually with lapse of time at constant volume and constant temperature of $35\pm0.05^\circ$C. at variable pressure levels up to about 3 atm.

3) Decrease in volume was computed from ΔP. It was reduced to standard state and designated by ΔV_0, which represents the amount of oxygen absorbed by the liquid materials.

4) The solubility of oxygen was found to be directly proportional to pressure, namely, the relation $A=cP$, holds in every of the materials studied, where A is solubility, P, pressure and c, the proportional constant.

5) The solubilities of oxygen in various materials were compared in terms of A/P. Within the oils and oily substances, the values of A/P do not differ so greatly from each other and are 5.5 to 6 times as great as A/P in water.

6) Some comparison was made between the value of A/P for oxygen and that for nitrogen or carbon dioxide. The ratio of solubility of the three gases (CO_2 : O_2 : N_2) averages 15 : 1.7 : 1 in the oily materials, and is 45 : 1.8 : 1 in water.

7) As for the absorption rate, the relation, $\Delta V_0=A(1-e^{-\alpha t})$, holds for the absorption of oxygen by each liquid material.

8) The initial absorption rate for oxygen was compared in terms of $\alpha A/P$. It is greater in waxes than in glycerides or in water. $\alpha A/P$ in sperm oil (the greatest) is 16 times as great as that in castor oil (the smallest) and some 7 times as great as that in water.

9) Comparison was made between the "early absorption rate" for oxygen and that for nitrogen or carbon dioxide. The early absorption rate for oxygen agrees with that for nitrogen in size in every material, but early absorption rate for carbon dioxide is of a very different order. It is 20 to 30 times as great as that for oxygen or nitrogen in the oily matters, and 200 times as great in water.

10) Experiments were made to ascertain whether oxidation of oils took place in the absorption tests.

REFERENCES

1) ISHIKAWA, Y. 1956. Sci. Rep. Whale Res. Inst., No. **11**: 191–213, June 1956.
2) ISHIKAWA, Y. 1958. Sci. Rep. Whale Res. Inst., No. **13**: 309–21, Sept. 1958.
3) HORIUCHI, J. 1931. Sci. Papers Inst. Phys. Chem. Res., **17**: 125–256, 1931.
4) BEHNKE, A. R. Jr. 1941–42. Harvey Lectures, Ser. **37**: 198–226, (1941–42).
5) SCHAFFER, P. S. and HALLER, H. S. 1943. Oil and Soap, **20**: 161–2, 1943.
6) BASSET, J. and DODÉ, M. 1936. Comp. rend. hebd. Séances Acad. Sci., **203**: 775–7, 1936, (cited from Chem. Centr., **108**: I, 511, 1937).
7) KRICHEVSKY, I. R. 1937. J. Am. Ch. Soc., **59**, 596, 1937.
8) JUST, G. 1901. Z. phys. Chem., **37**: 342–367, 1901.

Chemical Significance of the Volatile Components of Spices in the Food Preservative Viewpoint II*

Antibacterial Activity of Volatile Components of Coriander-Seed

Teruhisa KATAYAMA** and Isamu NAGAI***

***Department of Fisheries, and ***Department of Animal Husbandry, Faculty of Fisheries and Animal Husbandry, Hiroshima University, Fukuyama*

(Tables 1-4)

INTRODUCTION

In his chemical studies on the volatile constituents of seaweeds the senior author of this paper found that some of the volatile constituents of seaweeds show antibacterial activity[1),2),3)]. This finding interested us and promoted us to institute the present work, although there had already been several studies[4),5),6),7)] on the antibacterial activity of those essential oils which are listed in pharmacopoeias as odoriferous antiseptic agents. As was mentioned in the preceding paper[8)], the present series of work was carried out in order to clarify the volatile components and antibacterial properties of those condiments which are used to season fish ham and fish-meat sausage. The volatile components of coriander-seed known to date are β-pinene, α-terpineol, γ-terpinene, p-cymene, terpinolene, geraniol, decylaldehyde and acetic acid[9)]. In the present work coriander-seed was submitted to steam distillation and the distillate was extracted with ether. This ether extract was fractionated into fatty acid, phenol, cabonyl, and terpene fractions by the same method as was used for the fractionation of volatile constituents of seaweeds[2),10),11)]. Antibacterial properties of each fraction were tested with *Bacillus subtilis, Salmonella enteritidis, Staphylococcus aureus, Pseudomonas aeruginosa, Proteus morganii* and *Escherichia coli*. The fractions showed antibacterial activity at dilutions lower than 20∼200 times.

EXPERIMENTAL

I. Collection and Fractionation of Volatile Components of Coriander-Seed

About 2 kg of coriander-seed were submitted to steam distillation and the distillate was saturated with sodium chloride and extracted with ether. The extract was dried, ether was distilled off, and the crude oil thereby obtained was fractionated[2),9),10)] into lower fatty acids, higher fatty acids, phenols, carbonyls and terpenes. Yield of each fraction is shown in Table 1.

The terpene fraction was further fractionated by distillation with the result shown in

---

* The previous report -I. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., **24**: 511 (1958).

Table 2.

Each fraction was subjected to chromatostripping[12),13),14),15),16),17)] in which 1:8-cineol was developed simultaneously as the reference standard for Rf. After it was confirmed that the Rf value of the simultaneously developed 1:8-cineol was within the range of error, Rf values were calculated for the sample. These value are listed in Table 3.

Table 1. Yield of volatile compounds from 2 kg of coriander-seed

Fraction	Yield (g)
1. Lower fatty acids fraction	0.6
2. Higher fatty acids fraction	2.7
3. Phenol fraction	1.2
4. Carbonyl fraction	0.5
5. Terpene fraction	6.7

Table 2. Result of fractional distillation of terpene fraction

Fraction	Pressure (mm)	b.p. (°C)	Yield (g)	N_D^{25}	Color
I	10	~42	1.2	1.4650	light yellow
II	〃	43~50	0.9	1.4659	〃
III	〃	51~55	0.9	1.4732	〃
IV	〃	56~60	0.5	1.4950	〃
V	5	~70	0.5	1.5003	〃
VI	3	~60	0.6	1.5010	〃
VII	〃	61~70	0.7	1.4951	〃
VIII	〃	71~90	0.5	1.4918	light brown

II. Assay of Antibacterial Activity

(a) Preparation of sample: The sample was dissolved in 5% ethanol to obtain solutions of 10, 20, 100, 200, 1000, 2000 dilutions.

(b) Preparation of test medium: The test medium was prepared by dissolving 10 g of peptone, 5 g of meat extract, 2.5 g of sodium chloride and 25 g of agar in distilled water and making up to 1 *l*. pH was adjusted to 7.4.

(c) Composition of bouillon for inoculation of test bacteria: The composition of the bouillon used for the inoculation of test bacteria was as follows: 10 g of peptone, 5 g of meat extract and 2.5 g of sodium chloride, dissolved in distilled water to make up to 1*l*. pH was adjusted to 7.4.

(d) Test bacteria: The followlng six kinds of bacteria were preliminarily grown on the above-mentioned agar slant and exercised three times of subculture. The bacteria were then transferred to the bouillon medium and incubated at 37°C for 24 hours.

Test bacteria:

1. *Bacillus subtilis*
2. *Staphylococcus aureus*
3. *Proteus morganii*
4. *Salmonella enteritidis*
5. *Pseudomonas aeruginosa*
6. *Escherichia coli*

Table 3. Fractionation of neutral compounds by chromatostripping

Fraction	Pressure (mm)	b. p. (°C)	Rf values											
I	10	~42				0. 38							0. 73	β-pinene 0. 91
II	〃	43~50				0. 37				0. 59			0. 73	0. 92 (pink)
III	〃	51~55		geraniol 0. 20		0. 38		0. 48 (dark brown)	p-cyme-ne 0. 52	0. 59 (pink)			0. 72	
IV	〃	56~60		0. 29 (yellow)	0. 32	0. 38 (red-orange)			0. 52 (yellow)			0. 68	0. 73 (yellow-brown)	
V	5	~70	0. 06 (brown)		0. 31 (pink)		0. 46 (orange)				0. 64	0. 68		
VI	3	~60									0. 64	0. 68		
VII	〃	61~70									0. 64 (dark green)	0. 68		
VIII	〃	71~90										0. 68 (brown)		

(e) Test method: One cc of each of the diluted solutions of the sample was mixed with 20 cc of agar medium maintained at 42～45 °C and poured into a petri dish to form an agar plate. The test bacteria were inoculated on this agar plate in streaks[18] and incubated at 37 °C for 48 hours. Antibacterial activity was judged by comparing the growths of test bacteria on the medium containing the sample and on the control plate.

The control plate was an agar medium into which 5% ethanol had been mixed to see the effect of the alcohol on the growth of test bacteria. It was streaked with test bacteria and was used as the basis for determining the antibacterial activity of samples.

(f) Judgement of antibacterial activity: The highest dilution of the sample at which growth of test bacteria was inhibited is listed in Table 4.

Table 4. Antibacterial activity of volatile compounds

Fraction	b. p. (°C)	Maximum dilution at which bacterial growth was inhibited					
		Bac. subtilis	*Esch. coli*	*Salm. enteritidis*	*Staph. aureus*	*Prot. morganii*	*Pseud. aeruginosa*
Higher fatty acid fraction	—	10	10	10	10	10	10
Phenol fraction	—	20	10	10	10	10	20
Terpene fraction	—	200	100	100	100	100	100
Terpene fraction I	～42 (10 mm.)	100	100	100	100	200	10
Terpene fraction II	43～50 (〃)	200	20	100	100	100	10
Terpene fraction III and VI	51～60 (〃)	200	20	100	100	100	10
Higher unsaturated fatty acid fraction	—	200	20	20	100	100	20
Higher saturated fatty acid fraction	—	20	10	10	20	10	10

As is shown in Table 4, each fraction showed antibacterial activity at dilutions lower than 20～200 times.

SUMMARY

1. The coriander-seed, which is used as a condiment in fish ham and fish sausage, was submitted to steam distillation, and the distillate was extracted with ether to collect volatile components. These components were fractionated into fatty acids, phenols and terpenes.

2. The terpene portion was refractionated, each fraction was subjected to chroma-

tostripping, and the presence of β-pinene, p-cymene, terpinolene and geraniol was proved.

3. Antibacterial activity of each fraction was tested with *Bacillus subtilis*, *Salmonella enteritidis*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Proteus morganii* and *Escherichia coli*. All the fractions inhibited bacterial growth at dillutions lower than $20\sim200$ times.

ACKNOWLEDGEMENT

We express our deep gratitude to Prof. Y. TSUJI of this Faculty for his valuable suggestions rendered during the course of this work. We are grateful to the Tobata Plant of the Nippon Suisan Co., Ltd. for kind donation of test sample and for financial aid.

REFERENCES

(1) KATAYAMA, T. 1956. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., **22**: 248-250.
(2) KATAYAMA, T. 1958. Ibid., **24**: 346-354.
(3) KATAYAMA, T. 1959. Ibid., **24**: 925-932.
(4) OKAZAKI, K. & ÔSHIMA, S. 1952. J. Pharm. Soc. Jap., **72**: 558-560.
(5) OKAZAKI, K. & ÔSHIMA, S. 1952. Ibid., **72**: 564-567.
(6) OKAZAKI, K. & KAWAGUCHI, T. 1952. Ibid., **72**: 561-564.
(7) NISHIDA, M. 1958. Ibid., **78**: 435-436.
(8) KATAYAMA, T. 1958. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., **24**: 511-514.
(9) GUENTHER, E. 1952. "The Essential Oil." Vol. **2**. D. van Nostrand Company, Canada.
(10) KATAYAMA, T. & TOMIYAMA, T. 1952. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., **17**: 122-127.
(11) KATAYAMA, T. 1955. Ibid., **21**: 412-415.
(12) KIRCHNER, J. G., MILLER, J. M. & KELLER, J. G. 1951. Anal. Chem., **23**: 420-424.
(13) MILLER, J. M. & KIRCHNER, J. G. 1951. Ibid., **23**: 428-430.
(14) MILLER, J. M. & KIRCHNER, J. G. 1953. Ibid., **25**: 1107-1109.
(15) REITSEMA, R. H. 1954. Ibid., **26**: 960-963.
(16) FURUKAWA, T. 1958. J. Sci. Hiroshima Univ., **21**: 285-293.
(17) KATAYAMA, T. 1958. J. Fac. Fish. Anim. Husb. Hiroshima Univ., **2**: 68-78.
(18) WAKSMAN. S. A. & REILLY, H. C. 1945. Ind. Eng. Chem., **17**: 556-558.

Chemical Significance of the Volatile Components of Spices in the Food Preservative Viewpoint III*

Antibacterial Activity of Volatile Components of Nutmeg

Teruhisa KATAYAMA** and Isamu NAGAI***

***Department of Fisheries, and ***Department of Animal Husbandry, Faculty of Fisheries and Animal Husbandry, Hiroshima University, Fukuyama*

(Tables 1–4)

INTRODUCTION

The present study was undertaken in order to clarify the volatile constituents and antibacterial properties of the condiments which are used to season fish ham and fish sausage. The chief volatile components of nutmeg[1] known to date are α-pinene, α-terpineol, linalool, geraniol, safrol and myristein. Nutmeg was subjected to steam distillation and the distillate was extracted with ether. This ether extract was separated into fatty acid, phenol, carbonyl and terpene fractions by the method that was used for the separation of volatile constituents of seaweeds[2),3),4)]. Terpene fraction was further fractionated by fractional distillation. Antibacterial properties of each fraction were tested with *Bacillus subtilis*, *Salmonella enteritidis*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Proteus morganii* and *Escherichia coli*. The fractions showed antibacterial activity at dilutions lower than 20∼200 times.

EXPERIMENTAL

I. Fractionation of the Volatile Components of Nutmeg

About 2 kg of nutmeg was submitted to steam distillation, the distillate was saturated with sodium chloride and extracted with ether. Ether was distilled off after drying and the crude oil thereby obtained was fractionated into lower fatty acids, higher fatty acids, phenols, carbonyls and terpenes[2),3),4)]. The yield of each fraction of volatile components from 2 kg of nutmeg is given in Table 1.

Table 1. Yield of volatile compounds from 2 kg of nutmeg

Fraction	Yield (g)
1. Lower fatty acid fraction	0.3
2. Higher fatty acid fraction	0.7
3. Phenol fraction	3.2
4. Carbonyl fraction	0.1
5. Terpene fraction	7.2

* The previous report—II. This journal, **2**: 349 (1959).

The terpene fraction was further fractionated with WIDMER microfractionation apparatus[5] with the result shown in Table 2.

Table 2. Result of fractional distillation of terpene fraction

No.	Pressure (mm)	b. p. (°C)	Yield (g)	N_D^{25}	Color
I	10	~45	1.0	1.4756	Light yellow
II	〃	46~50	0.5	1.4812	〃
III (a)	〃	51~60	0.7	1.4820	〃
(b)	〃	〃	0.7	1.4834	〃
(c)	〃	〃	0.7	1.4822	〃
(d)	〃	〃	0.2	1.4810	〃
(e)	〃	〃	0.2	1.4825	〃
IV	〃	61~70	1.0	1.4840	〃
V (a)	〃	71~80	1.0	1.4829	〃
(b)	〃	〃	0.2	1.4838	〃
VI	5	~70	0.3	1.4830	〃
VII (a)	〃	71~80	0.8	1.4844	〃
(b)	〃	〃	0.7	1.4934	〃
VIII	3	45~60	0.2	1.5000	〃
IX	〃	61~70	0.4	1.5164	〃
X (a)	〃	71~80	0.8	1.5290	〃
(b)	〃	〃	0.5	1.5240	〃
XI	〃	81~90	0.4	1.5192	Light brown
XII	〃	91~100	0.7	1.5317	〃
XIII (a)	〃	101~110	1.0	1.5370	〃
(b)	〃	〃	1.0	1.5423	〃
(c)	〃	〃	0.6	1.5379	〃
XIV	〃	111~120	1.0	1.5338	〃
XV	〃	121~130	0.4	1.4859	〃

Each fraction was subjected to chromatostripping[6),7),8),9),10),11),12)]. From Rf value, coloration and pressure-boiling point curve, the presence of α-pinene, α-terpineol, linalool and geraniol was presumed. These results are shown in Table 3.

Table 3. Fractionation of neutral compounds by chromatostripping

Fraction	Pressure (mm)	b. p. (°C)	Rf values												
I	10	~45								0.74					0.93
II	〃	46~50								0.74					0.92
III (a)	〃	51~60								0.73					0.92
(b)	〃	〃								0.74					0.92
(c)	〃	〃								0.74					α-pinene
(e)	〃	〃					linalool			0.74					
IV	〃	61~70					0.34		0.55						
V	〃	71~80					0.33		0.54				0.83		
VI	5	~70			α-terpineol		0.34		0.54						

VII (a)	5	71~80			0.19		0.34		0.56		0.75			0.85
(b)	〃	〃			0.20		0.34		0.57		0.74			0.85
VIII	3	~60			0.19				0.58		0.74			0.85
IX	〃	61~70			0.19	0.26					0.75			0.85
X	〃	71~80				0.26					0.75			0.86
XI	〃	81~90				0.27		0.45			0.75			
XII	〃	91~100				geraniol		0.45		0.67				
XIII	〃	101~110						0.45		0.66				
XIV	〃	111~120	0.05	0.13				0.45		0.67				
XV	〃	121~130	0.05	0.13				0.46		0.67		0.71		

II. Assay of Antibacterial Activity

Antibacterial activity of the phenol, terpene and distilled terpene fractions was tested with *Bacillus subtilis*, *Salmonella enteritidis*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Proteus morganii* and *Escherichia coli* by the streak method described in the preceding report[13]. The results are shown in Table 4.

Table 4. The antibacterial activity of volatile compounds

Fraction	b. p. (°C)	Maximum dilution at which bacterial growth was inhibited					
		Bac. subtilis	*Esch. coli*	*Salm. enteritidis*	*Staph. aureus*	*Prot. morganii*	*Pseud. aeruginosa*
Phenol		20	10	10	10	10	10
Terpene		200	20	100	20	100	20
Terpene I	~45(10mm)	—	—	—	—	—	—
Terpene II+III	46~60(〃)	10	—	—	—	10	—
Terpene III(b)	51~60(〃)	20	—	—	20	20	—
Terpene IV	61~70(〃)	20	20	20	20	20	100
Terpene V	71~80(〃)	20	20	20	100	20	10
Terpene VI+VII	~80(5mm)	100	100	100	100	100	20
Terpene VIII+IX	~70(3mm)	20	20	20	20	20	20
Terpene X+XI	71~90(〃)	20	10	20	20	100	—
Terpene XII+XIII	91~110(〃)	20	10	20	20	20	10
Terpene XIV	111~120(〃)	100	—	—	—	100	—
Terpene XV	121~130(〃)	200	—	—	100	100	—

All the fractions inhibited bacterial growth at dilutions lower than 20~200 times.

SUMMARY

1. Nutmeg, which is used as a condiment in manufacturing fish ham and fish sausage,

was subjected to steam distillation and the distillate was extracted with ether. The volatile compounds were separated into fatty acids, phenols and terpenes.

2. The terpene fraction was refractionated, each fraction was submitted to chromatostripping, and the presence of α-pinene, α-terpineol, linalool and geraniol was presumed.

3. Antibacterial activity of each fraction was tested with *Bacillus subtilis*, *Salmonella enteritidis*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Proteus morganii* and *Escherichia coli*. All the fractions inhibited bacterial growth at dilutions lower than 20∼200 times.

ACKNOWLEDGEMENT

We express our deep gratitude to Prof. Y. TSUJI of this Faculty for his valuable suggestions rendered during the course of this work. We are grateful to the Tobata Plant of the Nippon Suisan Co., Ltd. for kind donation of test sample.

REFERENCES

(1) GUENTHER, E. 1952. "The Essential Oil." Vol. **2**. D. Van Nostrand Company, Canada.
(2) KATAYAMA, T. 1956. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., **22**: 248–250.
(3) KATAYAMA, T. 1958. Ibid., **24**: 346–354.
(4) KATAYAMA, T. 1959. Ibid., **24**: 925–932.
(5) KATAYAMA, T. 1955. Ibid., **21**: 412–415.
(6) KIRCHNER, J. G., MILLER, J. M. & KELLER, J. G., 1951. Anal. Chem., **23**: 420–424.
(7) MILLER, J. M. & KIRCHNER, J. G. 1951. Ibid., **23**: 428–430.
(8) KIRCHNER, J. G., MILLER, J. M. & KELLER, J. G. 1953. Ibid., **25**:1107–1109.
(9) REITSEMA, R. H. 1954. Ibid., **26**: 960-963.
(10) MILLER, J. M. & KIRCHNER, J. G. 1952. Ibid., **24**: 1480–1482.
(11) FURUKAWA, T. 1958. J. Sci. Hiroshima Univ., **21**: 285–293.
(12) KATAYAMA, T. 1958. J. Fac. Fish. Anim. Husb. Hiroshima Univ., **2**: 68–78.
(13) KATAYAMA, T. & NAGAI, I. 1959. Ibid., **2**: 349–353.

Some Cytological Effects of Sex Stimulating Hormones on Abnormal Mature Ova of Mice

Tsunenori NAKAMURA

Laboratory of Animal Physiology of Reproduction, Faculty of Fisheries and Animal Husbandry, Hiroshima University

(Tables 1–3; Text-fig. 1)

(I) INTRODUCTION

A considerable amount of the literature has been published pertaining to the mechanism of ovulation in mammals by many authors. ASAMI (1920), ALLEN (1923), BRANCA (1925), ENGLE (1927), MAKINO (1941) and SIGEMORO (1947) have dealt with morphological features of the Graafian follicle and atresia in mature ovaries of rabbits, rats and mice. In one of the previous reports, NAKAMURA (1957) has concerned with some cytological studies on abnormal mature ova in mouse ovaries during different phases of oestrous cycle. It seems probable that the disintegration may take place in both the egg body and the granulosa cells under the influence of pituitary gonadtrophic hormones on the follicular apparatus.

In the present study, the effects of sex stimulating hormones derived from the anterior pituitary gland, placenta gland and pregnant mare serum of horses, on abnormal mature ova were investigated cytologically in the sexual cycle of mice.

The author is deeply grateful to Prof. Dr. Sajiro MAKINO, Hokkaido University, for kind help in the preparation of the manuscript. Further thanks should be extended also to Mr. Haruka MORITA for his technical assistance during the course of this study.

(II) MATERIAL AND METHOD

Unmated mature female mice (*Mus musculus*) at 70～120 days of age furnished the material for the present study. There are Swiss-albinos purely bred in our laboratory and showed a normal sexual cycle with the vaginal smear method. On the first experiment, 25 individuals received injections of anterior pituitary sex gland stimulating hormones and the sex gland stimulating hormones of placenta "Synaphorin" (Teikoku Hormone MFG., Co.) 2 R.U., every day for 3 successive days in a period of the estrus stage. On the second experiment, starting 5 days befor the estrus stage, 25 individuals received injection of "Synaphorin" 2 R.U. per day for 3 successive days and again an injection of pregnant mare serum of horses, "Serotropin" (Teikoku Hormone MFG., Co.) 50 I.U. Twenty-four hours after injection, the ovaries were fixed with Bouin's solution. The sections were made according to the usual paraffin method and stained with Heidenhain's iron-haematoxylin.

(III) OBSERVATIONS

(1) Mature mice received injections of mixed preparation of anterior pituitary sex gland stimulating hormone and the sex gland stimulating hormones of placenta "Synaphorin" (A.P.H. treated experiment): From the anatomical view-point, the ovaries of 25 treated mice were more heavily weighed than normal ovaries. Microscopical observations revealed that the abnormal mature ova proceeding further than the first maturation stage are very smaller in number in hormone treated mice than in the untreated mice: twenty-five mice which received the injection of Synaphorin showed in their ovaries 202 normal ova, 45 abnormal ova, and 48 polyovular in total (Tables 1 & 3). In the former study, the author (1957) has observed in untreated ovaries from thirty mice 157 normal, 85 abnormal and 80 polyovular ova in total (Table 3).

Abnormal mature ova showed the chromosomes lying on the equatorial plate of the

Table 1. Number of normal mature ova and abnormal mature ova in A.P.H. treated mouse ovaries

Mouth Number	Body weight in gram	Phase of oestrous cycle	Ovary weight in mg. Ovary		Normal mature ova Ovary			Abnormal mature ova Ovary			Polyovular ova Ovary		
			Right	Left	Right	Left	Total	Right	Left	Total	Right	Left	Total
No. 8	21.0	Proestrus	19.0	12.5	10	6	16	0	1	1	4	0	4
No. 11	23.5	〃	16.5	25.0	2	3	5	0	0	0	0	1	1
No. 14	24.0	〃	20.0	19.0	3	6	9	1	2	3	1	0	1
No. 23	22.5	〃	18.5	12.5	8	4	12	0	0	0	1	1	2
No. 25	23.0	〃	17.5	17.0	8	1	9	0	0	0	0	0	0
No. 1	21.5	Oestrus	13.5	16.9	4	7	11	1	1	2	3	1	4
No. 24	24.0	〃	17.5	21.0	5	3	8	0	0	0	0	1	1
No. 6	19.0	Metoestrus	11.0	12.5	1	2	3	0	0	0	1	1	2
No. 18	23.0	〃	20.0	15.0	3	2	5	6	1	7	2	0	2
No. 19	23.5	〃	21.0	19.0	5	2	7	1	0	1	0	0	0
No. 21	25.0	〃	17.0	24.0	0	5	5	1	1	2	0	1	1
No. 3	17.0	Dioestrus	9.5	9.0	1	2	3	0	1	1	3	1	4
No. 10	18.0	〃	21.5	18.0	0	2	2	2	0	2	0	1	1
No. 22	22.0	〃	17.0	16.0	2	0	2	0	0	0	1	3	4
No. 2	21.0	Late Dioestrus	22.0	17.5	9	6	15	1	3	4	0	2	2
No. 4	24.0	〃	18.1	14.0	5	3	8	0	2	2	1	2	3
No. 5	23.0	〃	21.0	6.8	6	5	11	1	1	2	1	2	3
No. 7	24.0	〃	16.8	17.9	6	9	15	2	5	7	2	2	4
No. 9	23.0	〃	13.5	16.0	7	8	15	0	0	0	0	0	0
No. 12	24.0	〃	17.0	15.0	5	4	9	1	0	1	1	1	2
No. 13	24.0	〃	20.5	21.5	4	3	7	1	0	1	1	0	1
No. 15	22.0	〃	21.0	20.5	5	2	7	4	1	5	1	0	1
N0. 16	24.5	〃	18.5	19.5	2	5	7	0	2	2	2	0	2
No. 17	18.0	〃	15.0	17.0	3	2	5	0	1	1	2	0	2
No. 20	24.5	〃	18.7	18.0	6	0	6	0	1	1	1	1	2

Table 2. Number of normal mature ova and abnormal mature ova in P.M.S. treated mouse ovaries

Mouth Number	Body weight in gram	Phase of Oestrous cycle	Ovary weight in mg. Ovary Right	Ovary weight in mg. Ovary Left	Normal mature ova Ovary Right	Normal mature ova Ovary Left	Normal mature ova Total	Abnormal mature ova Ovary Right	Abnormal mature ova Ovary Left	Abnormal mature ova Total	Polyovular ova Ovary Right	Polyovular ova Ovary Left	Polyovular ova Total
No. 4	22.5	Proestrus	28.0	26.0	10	8	18	1	3	4	1	2	3
No. 7	21.5	〃	23.0	24.0	9	7	16	2	1	3	1	3	4
No. 11	30.0	〃	37.0	26.5	11	7	18	0	1	1	3	0	3
No. 12	27.5	〃	24.5	34.5	10	7	17	3	1	4	1	0	1
No. 16	21.0	〃	27.0	20.5	9	4	13	1	1	2	0	1	1
No. 18	22.0	〃	24.0	23.5	14	8	22	2	2	4	0	0	0
No. 19	24.0	〃	23.0	22.5	7	9	16	0	0	0	2	1	3
N0. 20	24.5	〃	29.5	30.5	9	9	18	1	1	2	0	1	1
No. 22	24.0	〃	14.0	22.0	9	15	24	1	1	2	0	0	0
No. 1	25.0	Oestrous	27.5	25.0	8	2	10	0	0	0	0	0	0
No. 8	23.5	〃	27.0	24.0	7	9	16	0	0	0	1	1	2
No. 10	23.0	〃	18.5	19.0	6	7	13	1	2	3	1	1	2
No. 13	27.5	〃	22.5	31.5	7	10	17	2	0	2	1	0	1
No. 14	27.5	〃	23.0	24.0	3	7	10	1	1	2	0	0	0
No. 21	28.0	〃	17.5	20.0	9	7	16	1	1	2	1	1	2
No. 24	23.0	〃	15.0	23.0	5	6	11	1	1	2	1	0	1
No. 5	23.0	Metoestrus	28.5	18.0	5	2	7	2	2	4	1	0	1
No. 6	23.0	〃	24.5	21.0	2	3	5	2	0	2	1	0	1
No. 15	29.0	〃	27.5	22.5	2	5	7	1	1	2	0	1	1
No. 23	25.5	〃	16.5	23.5	3	3	6	1	1	2	0	0	0
No. 2	23.5	Late Dioestrus	29.5	35.0	2	4	6	0	0	0	0	0	0
No. 3	23.0	〃	27.0	25.0	4	6	10	1	1	2	1	2	3
No. 9	20.5	〃	16.5	16.0	1	1	2	0	0	0	0	0	0
No. 17	24.0	〃	17.0	11.0	4	0	4	0	0	0	0	1	1
No. 25	22.0	〃	12.5	10.5	1	5	6	0	1	1	0	1	1

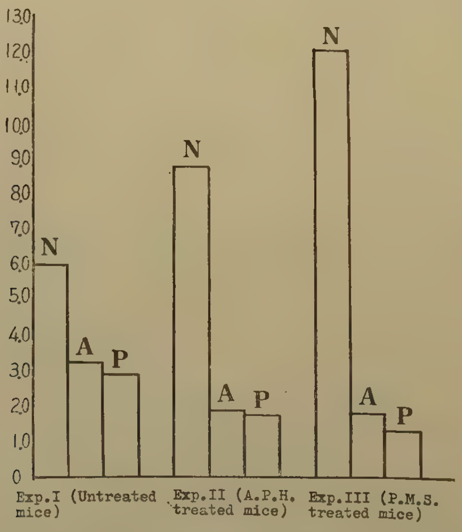
first spindle, having no nuclear membrane and antrum. Some ova showed the second polar spindle at metaphase accompanied by the first polar body in the follicle with a few antra. Some others showed the completion of the second division offering the second polar body, though no antrum follicle has been formed. There occur some chromosome abnormalities and the aberrant first division showing a tetra-polar spindle. In the extreme case, the ovum contained many vacuoles in its ooplasm. The abnormal mature ova were abundant in number in untreated ovaries. The detailed descriptions regarding the abnormal ova showing further advance toward the first maturation division are referred to the author's former papers (1957, '59).

The evidence here presented indicates that the abnormal ova decrease in number in treated ovaries in comparison with those in untreated ovaries, probably under the influence of sex stimulating hormones.

(2) Mature mice received injections of Synaphorin and mare serum of horses

Table 3. Total number of normal mature ova and abnormal mature ova in the mouse ovaries at three experiments

Method	Oestrous cycle	Number of individual	Normal mature ova	Abnormal mature ova	Polyovular ova
Exp. I (Untreated mice)	Proestrus	6	45	32	18
	Oestrus	5	20	15	9
	Metoestrus	7	28	8	18
	Dioestrus	4	0	4	9
	Late Dioestrus	8	64	26	26
	Total	30	157	85	80
Exp. II (A.P.H. treated mice)	Proestrus	5	51	4	8
	Oestrus	2	19	2	5
	Metoestrus	4	20	10	5
	Dioestrus	3	7	3	9
	Late Dioestrus	11	105	26	21
	Total	25	202	45	48
Exp. III (P.M.S. treated mice)	Proestrus	9	162	22	16
	Oestrus	7	93	11	8
	Metoestrus	4	25	10	3
	Late Dioestrus	5	28	3	5
	Total	25	308	46	32



N. Normal mature ova; A. Abnormal mature ova; P. Polyovular ova.

Text-fig 1. Average number of normal mature ova, abnormal normal mature ova and polyovular ova in the mouse ovaries at three experinemts

"Serotropin" (P.M.S. treated experiment): Microscopical observations have revealed that abnormal mature ova preceding further than the first maturation stage are very few in number in P.M.S. treated mice than in the untreated mice. Twenty-five treated mice showed in their ovaries 308 normal, 46 abnormal and 32 polyovular ova in total (Tables 2 & 3).

The data here obtained indicate the remarkable reduction in number of abnormal ova in P.M.S. treated mice than in A.P.H. treated mice. Particularly, the decrease in number of abnormal ova showing an immature condition of granulosa cells is remarkable.

Based on the findings in this study, the conclusion is possible that the reduction in number of abnormal ova may be explicable by the effect of sex stimulating hormones. Also, the evidence presented in the two experiments has indicated that the abnormal ova significantly decrease in number in P.M.S. treated ovaries in comparison with those in A.P.H. treated mice (Text-fig. 1). It is evident further that the sex stimulating hormones are not effective on polyovular follicles.

(IV) DISCUSSION

A good deal of work have been published so far on the mechanism on the follicular atresia in mammals (ASAMI 1920, ENGLE 1927, LANE 1938, PLISKE 1940, SIGEMORO 1947, etc.). In one of the previous papers, NAKAMURA (1957) dealt with a cytological study on abnormal mature ova in ovaries of mice obtained at different phases of oestrous cycle. The abnormal ova showing a further advance towards the first maturation division were very abundant in number in the mature ovary, being 35% in total. It seems probable that the disintegration takes place in either in the egg body or in the granulosa cells. From the findings obtained it is presumable that there is a relation between the maturation of the Graafian follicle and the effect of sex stimulating hormones.

The present study deals with a cytological effect of sex stimulating hormones on abnormal mature ova of mice. Microscopical observations have revealed that abnormal mature ova preceding further than the first maturation stage are very few in number in hormone treated mice than in the untreated mice. Especially, the P.M.S. treated mice showed a remarkable reduction in number of the abnormal mature ova. Recently, many papers have appeared regarding polyovulation under the effect of anterior pituitary hormone or pregnant mare serum in certain vertebrates (PARKES 1943, ROBINSON 1949, GATES 1956, GREEN 1956, RAESIDA & LAMOND 1956, OKIGAKI 1958, etc.). Based on the author's experiments, it is presumed that abnormal mature ova which failed to ovulate may undergo normal ovulation under the influence of sex stimulating hormones.

(V) SUMMARY

The effects of sex stimulating hormones on abnormal mature ova of mice were investigated cytologically during the sexual cycle. The results indicate that abnormal mature ova preceding further than the first maturation stage are very few in number in hormone

treated mice than in the untreated mice. Especially, the P.M.S. treated mice indicate the remarkable decrease in number of abnormal ova. Further the decrease in number of abnormal ova showing an immature condition of granulosa cells is remarkable. It seems probable that the sex stimulating hormones are not effective on polyovular follicles. Based on the results of the present study, the assumption is possibly made that abnormal mature ova which failed to ovulate may undergo ovulation under the effect of sex stimulating hormones.

(VI) LITERATURE CITED

ALLEN, E. 1923. Am. J. Anat., **31**: 439-480.
ASAMI, G. 1920. Anat. Rec., **18**: 323-343.
BRANCA, A. 1925. Arch. Biol., **35**: 325-335.
BULLOUGH, W. S. 1951. Methuen's Monographs on Biological Subjects.
ENGLE, M. T. 1927. Am. J. Anat., **39** (2): 187-203.
GATES, A. H. 1956. Nature, **177**: 754-755.
GREEN, J. A. 1956. Anat. Rec., **126**: 195-212.
LANE, Ch. E. 1938. Anat. Rec., **71**: 243-245.
MAKINO, S. 1941. J. Fac. Sci. Hokkaido Imp. Univ., VI. **7**: 305-308.
NAKAMURA, T. 1957. J. Fac. Fish. Anim. Husb. Hiroshima Univ., **1**: (3) 343-356.
——— 1959. Medicine and Biology., **51** (3): 100-102 (In Japanese).
——— 1959. La Kromosomo, 41 (In press).
——— 1959. Zool. Mag. **68** (10) : 358-361. (In Japanese).
OKIGAKI, T, 1958. J. Fac. Sci. Hokkaido Univ., VI. Zool. **14**. 1: 39-44.
PARKES, A. S. *et al.* 1952. Marshall's Physiology of Reproduction., **3** (II).
PLISKE, E. G. 1940. J. Morph., **67**: 321-346.
RAESIDA, J. I. & D. R. LAMOND. 1956. Aust. J. Agric. Res., **7**. (6): 591-607.
SIGEMORO, E. 1947. J. Fac. Sci. Hokkaido Univ., VI. **9**: 233-241.

The Environmental Factors on the Lamb Growth, Analytically Studied with Extra-Seasonal-Lambs

I. Extra-Seasonal-Production of Lambs by Artificial Light Treatment

Kô MIMURA & Yasushi ASAHIDA

Department of Animal Husbandry, Faculty of Fisheries and Animal Husbandry, Hiroshima University, Fukuyama

(Tables 1–9; Text-figs. 1–3; Plate 1)

(I) INTRODUCTION

In recent years many articles have been published on the environmental factors affecting the sheep production, with special reference to climatic effects, and many comprehensive reviews have been written by COOP (1950), HAFEZ (1954), WRIGHT (1954), FINDLAY (1954) and YEATES (1954) on the temperature, humidity and light affecting the sheep breeding and wool production. The Corriedale ewes in Japan do not come in breeding season until late August, and cease to do so some time in late winter, January to February.

As the period of the year during which ewes will be lambing is mainly restricted in spring, February to May, the climatic effects are confused with the effects by inherent factors in the general pattern of lamb growth.

In the growth and development of the Japanese Corriedale lambs, the probable importance of the age of three months old were stressed by MIMURA (1956), and MIMURA, although inconclusive, suggested that the growth rate of lambs might be modified by the light rhythm, nutritional changes and sexual maturity at the age. But this will be fully confirmed only, when these environmental factors and the growth pattern will be studied analytically on the lambs which are produced all over the years.

On the basis of an understanding of these points, the works of COOP (1953), YEATES (1953) (light rhythm and high temperature), WALLACE (1948), JOUBERT (1956), BURNS (1949～'55) (growth and wool growth) will also be reinvestigated.

After these investigations *e.g.* BISSONNETTE (1932), HAMMOND (1938), HOMMOND, Jr. (1944) and SYKES & COLE (1944), YEATES supplied final proof that light plays the major role in regulating the reproductive pattern of sheep. YEATES showed in 1949 that the Suffolk ewes came into oestrus in anoestrum period by artificial light treatments and lambed in October, a time of year quite outside the normal breeding season.

And then, subsequent detailed studies by HART (1950) and HAFEZ (1952) confirmed that the control of light environment would probably allow a year-round production.

In recent years, the efficiency of hormonal therapy for extra-seasonal-production of lambs has been shown by COLE, HART & MILLER (1945), ROBINSON (1951～'55), DUTT (1953), RAESIDE (1956), GORDON (1958) and others.

The primary object of our studies was again to find out how much effect the environmental factors had on the growth, as compared with normal lambs and extra-seasonal-lambs.

The present experiments were conducted mainly with the object of producing some extra-seasonal-lambs in the field of Japan, by the method of treatment proposed by YEATES (1949) and HAFEZ (1952) as being worthy.

In the present experiments, there were in some respects disagreements in design with those which YEATES, HAFEZ and other workers had used.

(II) MATERIALS AND METHODS

A. Selection of experimental animals

All experimental animals were selected from Japanese Corriedale ewes in the Experimental Farm of Hiroshima University at Fukuyama.

In the first season (1956) three yearling ewes and one 4-year-old ewe, averaging 44 kg in live weight, were used.

In the following season three 2-year-old ewes, one 5-year-old ewe and two yearling ewes, averaging 47 kg in live weight, were used. In the third year two yearling, two 2-year-old, three 3-year-old, and one 6-year-old ewes, averaging 48 kg in live weight, were used.

In all experiments one fertile Corriedale ram was employed, but in the first experiment it was necessary to employ another fertile ram with him.

B. Feeding and management

Ewes were running on pasture in the mornings and were housed in one light-proof pen according to the light treatments. In the first experiment rams were also housed in another light-proof pen. But in the second and third experiments the management of ram was in accord with the normal practice.

The diet of ewes was supplemented with 300 g concentrates per head daily during the period of investigation, but this was raised to 450 g during the last month of pregnancy. The mixture consisted of wheat bran, rice bran, fish meal and bean cake meal in the ratio 45:35:10:10. It was planned to increase the live weight of the ewes as much as possible during the whole period of investigations until lambing.

C. Light treatment

Artificial lighting and black-out treatment for controlling the breeding season of ewes were tried in a light-proof pen (Plate 1). The pen was 2.75×4.56 m with arrangement of four 100 Watt bulbs suspended from the roof at a height of 1.5 m above floor level. It had a slightly higher intensity than the pen used by YEATES (1949) and HAFEZ (1952).

Light treatment in the first season was described in Table 1.

Animals were shut in the light-proof pen before sunset, and then were exposed to artificial lighting. The hours of exposure to light was allowed daily for an actual day light to keep a gradually increasing light rhythm until 25 May, when the total light

length was corresponding to summer solstice.

Table 1. Light treatment in the first experiment (1956)

Date	Hours of artificial lighting (min.)	Hours of artificial darkness (min.)	Total light length	Remarks
May 17～May 24	105→20			corresponding to summer solstice
May 25	20		14 hrs. 35 min.	
May 26～May 31	20→ 0			
June 1～June 20		10→240		corresponding to winter solstice
June 21		250	9 hrs. 45 min.	
June 22～Aug. 31		250→195	9 hrs. 45 min. const.	

By artificial lighting, and then by artificial darkness it was changed over from increasing to decreasing light and after 21 June, when the light length was corresponded to winter solstice, the constant day light was kept up by darkness treatment.

The details of light treatment in the second and third seasons were similarly described in Tables 2 & 3.

Table 2. Light treatment in the second experiment (1957)

Date	Hours of artificial lighting (min.)	Hours of artificial darkness (min.)	Total light length	Remarks
Mar. 20～Apr. 1	0→106			corresponding to summer solstice
Apr. 2	119		14 hrs. 35 min.	
Apr. 3～Apr. 11	114→ 16			
Apr. 12	2		13 hrs. 0 min.	
Apr. 13～June 21		9→275		
Apr. 30		215	10 hrs. 0 min.	min. light length
June 22～July 24		275→250	10 hrs. const.	

Table 3. Light treatment in the third experiment (1958)

Date	Hours of artificial lighting (min.)	Hours of artificial darkness (min.)	Total light length	Remarks
Feb. 20～Mar. 5	0→180		14 hrs. 35 min.	corresponding to summer solstice
Mar. 6	181			
Mar. 7～Mar. 16	162→ 7			
Mar. 17～Mar. 25		10→146		corresponding to winter solstice
Mar. 26		154	9 hrs. 45 min.	
Mar. 27～June 15		156→283	9 hrs. 45 min. const.	

It must be noted here that the rhythmical changes of light in these seasons were designed to elapse more rapidly than in the previous season.

In 1958 two ewes of 3-year-old and of 2-year-old were maintained to constant light rhythm (10 hrs.) under the artificial darkness treatment from 6 Jan. to 20 Feb., when the sexual activity in other ewes had been depressed under the unfavorable light con-

dition.

D. Inspection for an oestrus and mating with fertile ram

After daily light rhythm was changed over from increasing to decreasing by artificial means, all the ewes were running with a fertile ram in a pen twice daily. At this running, inspection for evidences of oestrus was generally made, and the intensity of oestrus was graded as follows (Table 4).

Table 4. Grades of intensity of oestrus

Grade	Appearance of vulva	Behaviour of ewes
Oestrus (++)	reddish-yellow in colour, abundant vaginal mucus from opaque to light white, swelling up remarkably	searching for the ram, persisting in being close to him and readily accepting coitus
Oestrus (+)	no clear differentiation between Oestrus (++)	no attempt to approach the ram but accepted service when the latter made sexual approaches
±	changes were recognized in colour, mucus and swelling	following the ram but not accepted service

(III) RESULTS AND DISCUSSION

A. The incidence of oestrus

All treated ewes came in oestrus as a result of ligth treatments. The response of ewes in relation to the different seasons is given in Table 5. The results confirmed perfectly that the light plays the major role in regulating the reproduction of sheep.

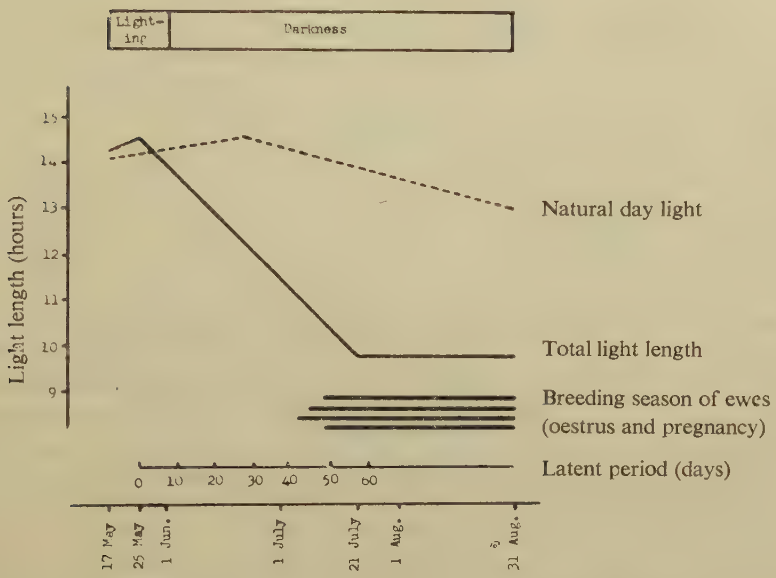
Table 5. The response of ewes in relation to the different season.

Season	No. of ewes treated	No. of ewes observed to come in Oestrus (++) ～ Oestrus (+)	Percentage of ewes that came in oestrus	Range of mean temp. (°C)
May-Aug. (1956)	4	4	100	21.0～32.0
Mar.-July (1957)	6	6	100	20.0～29.0
Feb.-June (1958)	6	6	100	4.0～26.5
Jan.-Feb. (1958)	2	2	100	2.0～12.0

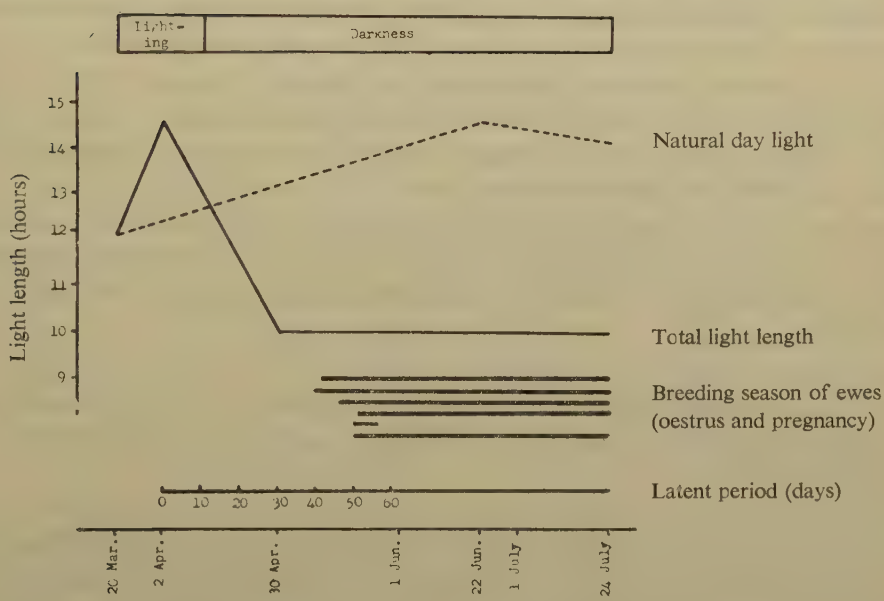
Oestrus (++)～Oestrus (+) : Same with it in Table 4.

YOSHIOKA *et al.* (1951) investigated the effect of the short day treatment for goat and suggested that there existed some other factors also effective for inducing oestrus cooperated with short day treatment. But in our results it was observed that the oestrous response had come with short day treatment, but that temperature, nutrition, age etc. did not modify the reproductive pattern of ewes under artificial light treatment.

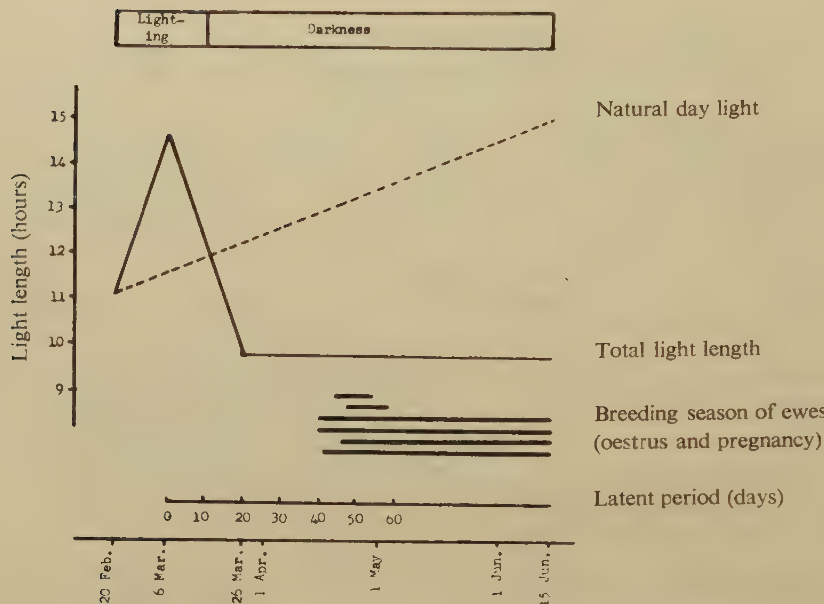
The relations between the incidence of oestrus and the artificial light treatment are shown on Text-figs. 1～3.



Text-fig. 1. Change of light rhythm under treatment and responses of ewes in the Ist experiment.



Text-fig. 2. Change of light rhythm under treatment and responses of ewes in the 2nd experiment.



Text-fig. 3. Change of light rhythm under treatment and responses of ewes in the 3rd experiment.

HAFEZ (1952) reported that a fixed light: darkness rhythm is sufficient to hasten the onset of the breeding season, and a gradual decrease in the proportion of light is not necessary. His suggestion is at variance with the conclusion of YEATES (1949).

In the experiments described, the majority of ewes was observed to be in oestrus under constant rhythm. But two ewes (among four ewes) in the first season came in oestrus with the gradual decrease of light. Thus, it is not confirmed whether rhythmical change is necessary for light treatment or not.

The ewes treated in January, 1958 came in oestrus. From this result it should be difficult to recognize that with artificial darkness ewes could be successfully maintained under the favourable light condition. Therefore, those are excluded from the present discussion.

B. The latent period

In the present experiments the latent period was as follows (Table 6), which HART (1950) has explained as the period elapsed from the onset of short day treatment to the first oestrus of ewes.

Means of the latent period were 43.8 days in 1956, 46.0 in 1957 and 43.0 in 1958. On these available data it may be presented that there are some constant intervals in Corriedale ewes to come in oestrus under short day treatment in out-of-season, and that they support a suggestion that the latent period is more important than the light rhythm.

YEATES (1949) believed that ewes came into oestrus after approximately the same interval on a decreasing plane of light as they do under natural conditions, *i.e.* in all cases oestrus started 10～14 weeks after the change-over from increasing to decreasing

light.

Table 6. The latent period in present experiments

Season	No. of ewes	First date of short day treatment	Latent period (days)	
			Individual	Mean
May～Aug. (1956)	4	May 25	41, 44, 48, 48	43.8
Mar.～July (1957)	6	Apr. 3	39, 41, 46, 49, 50, 51	46.0
Feb.～June (1958)	6	Mar. 26	40, 40, 41, 44, 46, 47	43.0

HART (1950) reported that the first oestrus was induced in Suffolk in the short average time of 30 days, the range being from 8 to 50 days for 10 ewes, when a daily treatment of 1 part light : 2 parts darkness (4L : 8D : 4L : 8D) was given.

In the experiment of HAFEZ (1952), the latency of initiation (comparable to HART's latent period) was 126 days in a group (8L : 16D) and 168 days in the other group (4L : 8D : 4L : 8D). He has claimed that these differences may be attributed to a different intensity of the solar light and to a different age of ewes, and that the latency of initiation is shown to be dependent on the light rhythm.

YEATES (1954) has reviewed on this question as follows: "It may be that the changes from light to darkness and *vice versa* every 24 hours provide a particular stimulus and that by increasing the frequency of these changes by artificial means, a stimulus which already operates in some limited way under natural conditions is being applied more intensively. On the other hand, artificial fractionation of the light (or darkness) periods may have no connection with any natural events and may be effective in producing such rapid gradual response, purely by chance."

From the present data (Tables 6 & 7), the latent period is the same with different season, age and light rhythm. It is constant intervals from 40 to 50 days after changeover from increasing to decreasing light. It is of some interest to say that those will be

Table 7. Effect of age on the latent period

Age of ewe	No. of ewes	Means of the latent period (days)			
		1956	1957	1958	Total
Yearling	7	45.7	40.0	45.5	44.0
2-year-old	4	—	48.7	40.0	46.5
Adult	5	44.0	50.0	42.3	44.2
Total	16	45.2	46.0	43.0	44.7

in accordance with natural intervals from summer solstice to onset of oestrus, if there may probably be a silent heat before onset of oestrus under normal condition.

Although there is no reason to believe that the latent period is affected by age of animals, there were some yearling ewes which sensibly responded to artificial light as suggested by HAFEZ (1952).

C. First oestrus and weak lamb

One 2-year-old ewe in 1957 and two yearling ewes in 1958, which were in under-

nourished conditions, were not run with fertile ram. Therefore, 13 out of 16 ewes became pregnant as a result of induced mating after one cycle interval. Details were described in Table 8.

Table 8. Numbers of oestrus of ewes under treatment

Season	No. of ewes	No. of oestrus until conception		No. of lambing	Remarks
		Individual	Mean		
1956	4	2, 2, 4, 6	3.0	4	2-year-old ewe was not mated
1957	6	2, 2, 4, 3, 3	2.8	5	
1958	6	2, 2, 2, 3	2.2	4	Two yearling ewes were not mated

Although there was no doubt that oestrous ewes had chances of coitus, all of them failed in conception in first oestrus. Why could they not be pregnant in first oestrus?

There is, furthermore, a question that some lambs were born weak in out-of-season. Details were described in Table 9.

Table 9. Numbers and birth weights of lambs produced in out-of-season

Lambing season	No. of ewes which produced lambs	No. of lambs	Mean of gestation period (days)	Mean of birth weights of lambs (kg)
Dec.-Jan. 1956–1957	4	4	146.5	3.9
Oct.-Nov. 1957	5	6	143.0	2.2
Sept.-Oct. 1958	4	4	142.8	3.2

As the average birth weight and the average gestation period of Japanese Corriedale are 3.5～4.0 kg and 147 days respectively (MIMURA, 1956), 5 out of 6 lambs that were produced in Oct.～Nov. 1957 were born weak in a short period of pregnancy.

YEATES (1953) has concluded that although high temperature is apparently without effect on the incidence of oestrus in sheep, it is inimical to satisfactory gestation. On the other hand, WALLACE (1948) found that when the ewes were undernourished in the last month of pregnancy the lambs were born smaller and weaker than the lambs that were produced under normal condition. But these suggestions can not yet bring the differences between the birth weight of lambs in 1957 and 1958 to any conclusion. It may be confirmed by further investigations.

(IV) SUMMARY

(1) Trials involving a total of 18 Japanese Corriedale ewes were conducted in an attempt to gain several lambs under artificial light treatment over three out-of-seasons.

(2) Artificial lighting and black-out treatments for controlling the breeding season of ewes were tried in a light-proof pen.

(3) The hours of exposure to light were allowed daily for an actual day light to keep a gradually increasing light rhythm until the total light length corresponded to

summer solstice, and then it was changed over from increasing to decreasing light by artificial lighting and darkness. When the light length was corresponded to winter solstice the constant light length was kept up.

In the second and third seasons, the rhythmical changes of light were designed to elapse more rapidly.

(4) All of ewes under light treatment came in oestrus for 40 ~ 50 days' intervals after the change-over from increasing to decreasing light. It may, therefore, be considered that there are some constant intervals in Corriedale ewes to come in oestrus under short day treatment. And it is of some interest to say that these intervals will be in accordance with natural intervals, if there may probably be a silent heat before onset of oestrus under normal condition.

(5) 13 out of the 16 oestrous ewes became pregnant as a result of induced mating after one cycle interval. Several of 14 lambs which were produced in the present experiments were born weak.

It may be necessary for further investigations to set such questions at rest.

The authors wish to express grateful thanks to the Ministry of Education for grants in aid and to Mr. H. MORITA, Mr. K. MURAKAMI, Mr. T. HORIKAWA, Mr. K. HASEGAWA, Mr. T. MOTOTANI, Mr. M. MASUNISHI, and Mr. K. SHIMAKAWA for general assistance.

(V) REFERENCES

BISSONETTE, T. H. 1932. Physiol. Zool., **5**: 92 (cited by YEATES, 1949).

BURNS, M. 1949. J. Agric. Sci., **39**, 64–79.

——— 1953. ibid., **43**: 422–431.

——— 1954. ibid., **44**: 86–99.

——— 1955. ibid., **46**: 389–406.

COLE, H. H., HART, G. H. & MILLER, R. F. 1945. Endocrinology, **36**: 370–380 (cited by ROBINSON, 1951).

COOP, I. E. 1953. J. Agric. Sci., **43**: 456–472.

DUTT, R. H. 1953. J. Animal Sci., **12**: 515–523.

FINDLAY, J. D. & BEAKLEY, W. R. 1954. Progress in the Physiology of Farm Animals, Vol. **1**: 252. London, Butterworth.

GORDON, I. 1958. J. Agric. Sci., **50**: 123–151; 152–197.

HAFEZ, E. S. E. 1952. ibid., **42**: 189–265.

HAMMOND, J. 1938. Aust. Vet. J., **14**: 171.

HAMMOND, J. JR. 1944. J. Agric. Sci., **34**: 97–105.

——— 1952. ibid., **42**: 293–303.

HART, D. S. 1950. ibid., **40**: 143–149.

JOUBERT, D. M. 1956. ibid., **47**: 382–428.

MIMURA, K. 1956. J. Fac. Fish. Anim. Husb. Hiroshima Univ., **1**: 203–266.

PARKES, A. S. 1952. MARSHALL's Physiology of Reproduction. 3rd ed., Vol. **2**. London, Longmans Green.

RAESIDE, J. I. 1956. Aust. J. Agric. Res., **7**: 591–607.

ROBINSON, T. J. 1951. J. Agric. Sci., **41**: 6–63.

——— 1954. J. Endocrinol., **10**: 117 (cited by ROBINSON, 1955).

——— 1955. J. Agric. Sci., **46**: 37–47.

SYKES, J. F. & COLE, C. L. 1944. Quart. Bull. Mich. Agric. Exp. Sta., **26**: 250 (cited by YEATES, 1949).

WALLACE, L. R. 1948. J. Agric. Sci., **38**: 93–153; 243–302; 367–401.

——————1954. ibid., **45**: 60–75.

WRIGHT, N. C. 1954. Progress in the Physiology of Farm Animals, Vol. **1**: 191. London, Butterworth.

YEATES, N. T. M. 1949. J. Agric. Sci., **39**: 1–43.

—————— 1953. ibid., **43**: 199–203.

—————— 1954. Progress in the Physiology of Farm Animals, Vol. **1**: 363. London, Butterworth.

YOSHIOKA, Z., AWASAWA, T. & SUZUKI, S. 1951. Bull. Nat. Inst. Agric. Sci. Series G, No. 1: 105–111.

Explanation of Plate 1

Fig. 1. Ewes under the artificial darkness treatment and the inside of a light-proof pen with an electric exhaust-fan (left side).

Fig. 2. Extra-seasonal lambs and yearlings at different ages on a pasture of the Experimental Farm of Hiroshima University (April, 1959).



1



2

MIMURA & ASAHIDA : Environmental Factors on Lamb Growth

Partial Infertiliyt of Intergeneric Hybrid Eggs between the Muscovy Drake and the Common Duck

Moriyuki WATANABE

Department of Animal Husbandry, Faculty of Fisheries and Animal Husbandry, Hiroshima University, Fukuyama

(Tables 1-4; Plate 1)

Since 1955, a routine work on the artificial insemination in birds has been going on in this laboratory under the direction of Prof. emer. Dr. J. YAMANE, former Dean of the Faculty of Fisheries and Animal Husbandry, Hiroshima University. At first, the possibility of artificial insemination in the Common duck was tested with the semen collected by massage, the insemination being performed by palpating the orifice of oviduct (WATANABE & SUGIMORI, 1957). It was confirmed that there was no difference in the fertility rate of the Common duck between the artificial insemination and the natural mating. Nevertheless, it was found that the success of massage method depended exclusively upon psychology of the drake. It was an elaborate work to train a drake for 10 ∼ 15 days until it showed a response to the massage. Also, the time required for inducing ejaculation and the volume of semen obtained varied exceedingly according to the individual bird. At the injection of semen, the palpation of the orifice of oviduct required a considerable skillfulness on the part of the operator. To eliminate these disadvantages, the author has developed a new technique of artificial insemination to the Common duck. It revealed that the absolute and relative fecundities were 80% and 85% respectively, which did not differ from those of Common duck naturally mated in the same season (WATANABE, 1957).

Based upon two series of experiments above mentioned, the author has proceeded to solve the problem of the alleged partial infertility of intergeneric hybrid eggs between the Muscovy drake and the Common ducks by employing his new technique. The present paper is aimed to report the results of his experiments carried out along this line.

The author wishes to express his sincere thanks to Prof. emer. Dr. J. YAMANE for giving this theme as well as for constant guidance and encouragement in the course of the work.

(I) MATERIALS AND METHODS

A. Birds used for the experiments

The birds experimented upon consisted of an adult Colored Muscovy drake and five 2-year-old White Common ducks, the so-called Osaka-ducks of Pekin strain; the former was raised in Okayama Prefecture and the latter in our laboratory.

B. Collecting the Muscovy semen

It was found that the semen collection from the Muscovy by massage is absolutely impossible because of its nervous temperament and extraordinary wing strength. The collection of semen by means of interrupted copulation, as ONISHI & KATO (1955) described, was found to be very troublesome for practical use and not always successful. On the contrary, the method of electro-ejaculation reported in the previous paper (WATANABE, 1957) proved that it was very simple to apply to the Muscovy drake with a regular success. The procedure was as follows: the drake was fixed on a small wooden table with a height of 25 cm, a width of 21 cm and a length of 25 cm, with a side plate of 45 cm in height and 8 cm in width. An electric pole, a sharp needle of an electro-ejaculator manufactured by FHK Co, Ltd., Tokyo, was inserted into the hypoderm of sacral region and the other pole, a blunt rod, into the vent. Instead of 30 volts and 0.06～0.08 amperes applied in the previous experiments, in the present experiment, 20 volts and 0.04～0.05 amperes of an alternating current was applied, as it was later found to be strong enough. The current was repeatedly turned on for three to four times for 3 seconds a time with an interval of 5 seconds. At every turning of the current the drake showed a momentary rigidity. Upon sufficient stimulation, the drake flapped reflexibly its tail revealing the emission of semen. By pressing the stiff penis by hand, the semen was received in a graduated tube of funnel shape. All the responses of the Muscovy drake did not differ from those of the Common duck previously described. No maleffect due to the electro-stimulation on the Muscovy drake has so far been observed.

C. Examination of semen characteristics

Every ejaculate thus secured once a week throughout the year was examined in respect to its characteristics: volume of semen, sperm concentration per unit volume, total number of sperms per ejaculate and motility of the sperm.

D. Insemination of Common ducks with Muscovy's semen

An ejaculate recovered from the Muscovy drake on September 23, 1958 was alloted for insemination to 5 Common ducks which were beforehand proved to be good layers and strictly isolated from drakes. The semen secured was immediately diluted by ten times with 0.85% physiological saline solution and each 0.3 ml of this mixture was simultaneously injected to the 5 ducks. Since the total volume of the ejaculate was 0.5 ml and contained 102,000 sperms per cubic millimeter, the number of sperms each duck received was approximately 3,060,000. At the microscopical examination, about 85% of sperms exhibited very active motility. For inducing the inseminator through the vaginal orifice, a metallic speculum specially deviced for the duck was used. With regard to all the other procedures of insemination technique, the author would like to refer to his previous paper (WATANABE, 1957).

E. Incubation test

All the eggs laid during two weeks following the insemination were put into an in-

cubator at 10:00 a. m. every day and candled on the 5th day of incubation which lasted a week after the apparent cessation of development.

(II) RESULTS OF EXPERIMENTS

A. Semen characteristics of the Muscovy drake in comparison with that of the Common drake

The semen characteristics of these two species were determined every week throughout the year and summarized in the Tables 1 and 2.

In comparing these two tables the most conspicuous fact was that the total number of sperms per ejaculate of the Muscovy drake was strikingly small compared with that of the Common drake, in spite of the same method of semen collection. It showed a wide variation and the difference was always incomparably enormous.

Further, the testicular activity reflected by the total number of sperm per ejaculate[1]) of the Muscovy seemed to be at its highest in June, and at its lowest in November and December, although the curve from January to October did not slope smoothly. On the contrary, the testicular function of the Common drake was most active from April to June, rising to a peak in May. From September to February the spermatogenic activity was at its lowest, but the sperm number at its minimum exceeded that of the Muscovy at its peak in May.

B. Fertility test

Fertility of the Common ducks simultaneously inseminated with a fraction of one and the same ejaculate of Muscovy drake was tested by incubation of the hybrid eggs. Table 3 gives the results of this heteroinsemination. The insemination was performed at 6.30 a.m., September 23, 1958. The eggs laid in the following morning were unexceptionally infertile. The first fertile eggs always appeared in the morning of the second day before 6.00 a.m. This phenomenon was in accordance with the homoinsemination i.e. insemination of the Common ducks *inter se* as shown in Table 4. The maximum duration in which the Muscovy semen released in the duck's genital tract remained fertile was 7 days after the insemination (No. 49). This did not differ from the homologous semen injecetd (Table 4). The absolute fecundity, the percentage of the number of the ducks which produced fertile eggs to the total number of ducks inseminated, was also the same both in heteroinsemination and homoinsemination. As far as the daily fertility rate was concerned, however, the semen of these two species were not the same. On the second day after the insemination, when the maximum fertility rate was obtained, it showed 75% in the heteroinsemination, and 80% in the homoinsemination. On the third day it went down to 50% in both cases. The ratio of the number of fertile eggs to the total number of eggs produced during the whole week following a single insemination with heterologous semen was 27.6% (8:29), whereas it was 33.3% (22:66) with the

1) Neither the semen volume nor the sperm concentration per unit volume of an ejaculate does not reflect the real testicular activity; the absolute total number of sperms per ejaculate is only a mirror for it.

Table 1. Seasonal variation of characteristics of semen obtained by electro-ejaculation in a Muscovy duck (from December 1957 to November 1958)

Week No.		Volume per ejaculate (ml)	Sperm concentration per mm³	Total number of sperm per ejaculate	Monthly average
Jan.	1.	0. 18	599, 000	107, 820, 000	77, 368, 000
	2.	0. 35	305, 000	106, 750, 000	
	3.	0. 32	220, 000	70, 400, 000	
	4.	0. 35	70, 000	24, 500, 000	
Feb.	1.	0. 35	430, 000	150, 500, 000	99, 625, 000
	2.	0. 50	190, 000	95, 000, 000	
	3.	0. 20	90, 000	18, 000, 000	
	4.	0. 30	450, 000	135, 000, 000	
Mar.	1.	0. 50	240, 000	120, 000, 000	100, 780, 000
	2.	0. 30	300, 000	90, 000, 000	
	3.	0. 20	380, 000	76, 000, 000	
	4.	0. 32	366, 000	117, 120, 000	
Apr.	1.	0. 35	32, 000	11, 200, 000	13, 950, 000
	2.	0. 30	22, 000	6, 600, 000	
	3.	0. 40	45, 000	18, 000, 000	
	4.	0. 40	50, 000	20, 000, 000	
May	1.	0. 20	61, 000	12, 200, 000	51, 850, 000
	2.	0. 60	114, 000	68, 400, 000	
	3.	0. 50	64, 000	32, 000, 000	
	4.	0. 60	158, 000	94, 800, 000	
June	1.	0. 60	330, 000	198, 000, 000	154, 300, 000
	2.	0. 70	298, 000	208, 600, 000	
	3.	0. 30	134, 000	40, 200, 000	
	4.	0. 60	284, 000	170, 400, 000	
July	1.	0. 20	208, 000	41, 600, 000	40, 800, 000
	2.	0. 40	96, 000	38, 400, 000	
	3.	0. 50	80, 000	40, 000, 000	
	4.	0. 40	108, 000	43, 200, 000	
Aug.	1.	0. 30	236, 000	70, 800, 000	81, 550, 000
	2.	0. 50	294, 000	147, 000, 000	
	3.	0. 30	142, 000	42, 000, 000	
	4.	0. 40	166, 000	66, 400, 000	
Sep.	1.	0. 40	158, 000	63, 200, 000	90, 300, 000
	2.	0. 50	102, 000	51, 000, 000	
	3.	0. 50	218, 000	109, 000, 000	
	4.	0. 30	460, 000	138, 000, 000	
Oct.	1.	0. 30	80, 000	24, 000, 000	13, 750, 000
	2.	0. 20	4, 000	800, 000	
	3.	0. 30	96, 000	28, 800, 000	
	4.	0. 10	14, 000	1, 400, 000	
Nov.	1.	0. 10	20, 000	2, 000, 000	1, 025, 000
	2.	0. 30	3, 000	900, 000	
	3.	0. 10	10, 000	1, 000, 000	
	4.	0. 20	1, 000	200, 000	
Dec.	1.	0. 20	35, 000	7, 000, 000	8, 075, 000
	2.	0. 10	83, 000	8, 300, 000	
	3.	0. 05	128, 000	6, 400, 000	
	4.	0. 05	212, 000	10, 600, 000	

Table 2. Seasonal variation of characteristics of semen obtained by electroejaculation in the Common ducks (from April 1957 to May 1958). Each number is an average of 4 ducks.

Week No.		Volume per ejaculate (ml)	Sperm concentration per mm³	Total number of sperm per ejaculate	Monthly average
Jan.	1.	0. 10	2, 640, 000	264, 000, 000	246, 200, 000
	2.	0. 10	3, 210, 000	321, 000, 000	
	3.	0. 10	1, 240, 000	124, 000, 000	
	4.	0. 10	2, 760, 000	276, 000, 000	
Feb.	1.	0. 20	4, 080, 000	816, 000, 000	641, 500, 000
	2.	0. 20	3, 120, 000	624, 000, 000	
	3.	0. 20	2, 490, 000	498, 000, 000	
	4.	0. 20	3, 140, 000	628, 000, 000	
Mar.	1.	0. 20	1, 348, 000	269, 600, 000	1, 607, 550, 000
	2.	0. 30	8, 362, 000	2, 508, 600, 000	
	3.	0. 20	16, 710, 000	3, 342, 000, 000	
	4.	0. 20	1, 550, 000	310, 000, 000	
Apr.	1.	0. 60	6, 460, 000	3, 876, 000, 000	3, 079, 000, 000
	2.	0. 40	7, 900, 000	3, 160, 000, 000	
	3.	0. 40	4, 620, 000	1, 848, 000, 000	
	4.	0. 60	5, 720, 000	3, 432, 000, 000	
May	1.	0. 40	14, 100, 000	5, 640, 000, 000	3, 570, 500, 000
	2.	0. 30	6, 740, 000	2, 022, 000, 000	
	3.	0. 50	7, 960, 000	3, 980, 000, 000	
	4.	0. 40	6, 600, 000	2, 640, 000, 000	
June	1.	0. 20	2, 520, 000	504, 000, 000	1, 731, 250, 000
	2.	0. 30	5, 140, 000	1, 542, 000, 000	
	3.	0. 50	4, 270, 000	2, 135, 000, 000	
	4.	0. 80	3, 430, 000	2, 744, 000, 000	
July	1.	0. 40	5, 580, 000	2, 232, 000, 000	1, 126, 750, 000
	2.	0. 20	4, 850, 000	970, 000, 000	
	3.	0. 10	7, 560, 000	756, 000, 000	
	4.	0. 10	5, 490, 000	549, 000, 000	
Aug.	1.	0. 20	2, 620, 000	524, 000, 000	431, 500, 000
	2.	0. 10	3, 390, 000	339, 000, 000	
	*3.	—	—	—	
	*4.	—	—	—	
Sep.	1.	0. 10	1, 240, 000	124, 000, 000	159, 400, 000
	2.	0. 10	2, 577, 000	257, 700, 000	
	3.	0. 10	1, 310, 000	131, 000, 000	
	4.	0. 10	1, 250, 000	125, 000, 000	
Oct.	1.	0. 10	2, 810, 000	281, 000, 000	319, 750, 000
	2.	0. 10	1, 570, 000	157, 000, 000	
	3.	0. 20	2, 890, 000	578, 000, 000	
	4.	0. 10	2, 630, 000	263, 000, 000	
Nov.	1.	0. 20	2, 800, 000	560, 000, 000	524, 000, 000
	2.	0. 20	3, 180, 000	636, 000, 000	
	3.	0. 10	3, 380, 000	338, 000, 000	
	4.	0. 20	2, 810, 000	562, 000, 000	
Dec.	1.	0. 10	3, 080, 000	308, 000, 000	330, 750, 000
	2.	0. 10	2, 840, 000	284, 000, 000	
	3.	0. 10	4, 170, 000	417, 000, 000	
	4.	0. 10	3, 410, 000	314, 000, 000	

* In spite of electro-stimulation, no ejaculation occurred.

Table 3. Results of a simultaneous insemination of Common ducks with a fraction of a Muscovy ejaculate

Days following insemination	Common ducks inseminated					Number of eggs laid	Number of fertile eggs	Fertility rate (%)
	No. 32	No. 38	No. 49	No. 54	No. 58			per day
1	0	–	0	–	–	3	0	0
2	0	+	+	–	+	4	3	75
3	+	–	+	–	0	4	2	50
4	+	–	+	–	–	5	2	40
5	–	–	–	–	–	5	0	0
6	–	0	0	–	–	3	0	0
7	–	–	+	–	–	5	1	20
Total						29	8	per week 27.6

Table 4. Results of a simultaneous insemination of Common ducks with a fraction of a Common duck's ejaculate

Days following insemination	No. of Common ducks inseminated										Number of eggs laid	Number of fertile eggs	Fertility rate (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			per day
1	–	–	–	0	–	–	–	–	–	–	9	0	0
2	–	+	+	+	+	+	+	+	–	+	10	8	80
3	–	+	–	–	+	+	–	+	–	+	10	5	50
4	–	+	–	0	+	+	–	+	–	+	9	5	55
5	–	+	–	+	0	–	–	–	–	–	9	2	22
6	–	–	–	+	–	–	–	–	–	0	9	1	11
7	–	–	–	–	–	–	–	+	–	–	10	1	10
Total											66	22	per week 33.3

homologous semen. It was clearly seen that the length of time during which the Muscovy's semen remained fertile was shorter than that the Common duck's semen did.

C. Hatchability

The length of incubation period of the hybrid eggs occupied an intermediate position between those of the two parental species, ranging from 29 to 32 days with an average of 31 days. In the Common duck here employed, it varied from 27 to 29 days with an average of 28 days, while that of the Muscovy varied from 35 to 37 days with an average of 36 days.

From 8 fertile eggs 6 hybrid ducklings (4 males and 2 females) were procured whereas the other two eggs stopped developing by the time of candling on the twelfth day of incubation. This showed about 74% of hatchability. All ducklings, except one which was killed by accident, are now growing on with a great vitality (Pl. 1, Figs. 3, 4, 5).

(III) DISCUSSION

It is a popular custom among the inhabitants in South-Eastern Asia such as Taiwan (Formosa), South China, Philippines, etc. to raise hybrid birds between the Mallard or Common ducks (*Anas platyrhyncha* var. *domestica*) and the Muscovy drakes (*Cairina moschata*). They are commonly known as mule-ducks[1]. The mule-duck, although completely sterile in both sexes, has much merit as a meat producer, exhibiting a rapid growth, a strong constitution and good foraging qualities due to the heterosis. The bottleneck in the mule-duck production is, however, that the fertility of intergeneric eggs is exceedingly low. According to a report of the Taichung Animal Industry Association, Taiwan (1943), of 4,952 hybrid eggs incubated only 2,094 eggs were fertile, showing a fertility rate of 42.3%, although the eggs tested were random samples. This seems to be caused by a difference in mating behavior between the parental species: the Common duck has a water-copulatory habit and the Muscovy, a land-copulatory habit. It was observed by the present author that the Muscovy drake covered the Common duck on the land and strived to stabilize his body on the duck's back, becaue of a great difference between the two species in body size and weight. From this standpoint, it is considered that the artificial insemination may serve effectively for promoting the fertility rate of hybrid eggs.

YAMASHINA (1950) was the first investigator who attempted to apply the artificial insemination to the mule-duck production; he secured 6 birds out of 14 intergeneric eggs produced by mating the female Muscovy ducks with a male Common duck, showing a fertility rate of 42.8%. However, a reciprocal cross, namely a cross between the Common ducks with a Muscovy drake brought no satisfactory results in fertility. The cause of this failure was ascribed to the sterility of the male Muscovy employed, because the semen was found to be deprived of sperm cells. Later, ONISHI & KATO (1955) succeeded in obtaining fertile eggs by artificial insemination of Common ducks with Muscovy semen. However, no marked increase in the fertility rate of hybrid eggs was attained by artificial insemination beyond that secured by natural mating, the rate of the former being 34.2% (26:76) and that of the latter 32.1% (96: 300). Thus, the fertility rate of hybrid eggs was whether artificially inseminated or naturally mated, lower than that of pure Common duck's eggs procured by the artificial insemination in the other experiments (ONISHI, KATO & FUTAMURA, 1955). In the latter experiments, the fertility rate was 54.2% (130 fertile eggs to 240 produced). The author's present experiments also showed that the fertility of the Muscovy's semen was much lower than that of the Common duck and that an insemination did not help to increase the fertility rate of the hybrid eggs (Tables 3 & 4).

From all the data above cited, it can be said that a physical hindrance in mating of the Common ducks with the Muscovy drake does not fully explain the partial infertility of hybrid eggs. Furthermore, the results of the present study on the semen characteristics revealed that there was a considerable difference in testicular activity of the

---

1) The mule-duck is also known in binominal terms as *Anas hybrida, Anas maxima* and *Anas sterilis* (Kuroda, 1958).

two species. This was perceived in the total number of sperms per ejaculate: the maximum number of sperms of the Muscovy was smaller than the minimun number of sperms of the Common duck. The infertility of the "oligospermic" semen has been so far confirmed by a great number of artificial breeders of other domestic animals. Besides, the Muscovy seems to keep more or less its wild habit of breeding in a certain months.

It is known that the Mallard drake in its domesticated state is polygamous and exhibits a high testicular activity almost throughout the year, whereas its wild ancestor is monogamous and breeds only in a certain season. A conversion from monogamy into polygamy and an aquisition of a habit of breeding all through the year are undoubtedly the effects of constant selection with respect to its high fecundity to which this species has been subjected from time immemorial. In contrast to this, the Muscovy duck of South American origin, though domesticated prior to the importation to Europe, seems to have not yet been selected with respect to its fecundity so intensively as the Mallard. This is to be seen in the less total number of sperms per ejaculate and in a greater seasonal variation of sperm productivity in the Muscovy.

Hence, the inevitable conclusions for promoting the fertility of hybrid eggs between the two species by means of artificial insemination are: 1. An ejaculate of the Muscovy drake should not be alloted to too many ducks in order to keep a certain sperm concentration, and 2. An adequate dilutor specific to the duck should be newly devised.

(IV) SUMMARY

1. The female Common ducks were artificially inseminated: in one series of experiments the semen of its own breed was used; and in the other, the semen of the Muscovy drake was used.

2. Both in homo- and heteroinsemination, the maximum fertility rate was obtained on the second day following the insemination: 80% in the former and 75% in the latter. On the third day, the fertility rate went down to 50% in both cases.

3. The maximum length of time during which the semen remained capable of fertilizing was likewise 7 days in both the species.

4. There is a marked difference, however, in the fertility resulted during the whole week following the insemination, between the heterologous semen and the homologous semen: the fertility rate in the former being 27.6% and in the latter 33.3%.

5. The partial infertility of the Muscovy drake in producing the mule-duck is thus experimentally proved.

6. It seems to be unjustified to ascribe this partial infertility to the copulatory hindrance caused by the differences in mating habits of the two duck species, because the fertility rate in the hybrid eggs could not be raised even with artificial insemination.

7. The testicular activity shown by the total number of sperms per ejaculate of the Muscovy throughout the year is strikingly low compared with that of the Common duck. This suggests that the Muscovy duck, though domesticated prior to the importa-

tion to Europe, has not yet so much changed in its breeding habit as the Common duck which acquired habits of polygamy and of breeding all the year.

8. For the purpose of increasing the fertility rate of hybrid eggs, in artificial insemination too high a dilution of the Muscovy's semen should be avoided and an adequate dilutor for the duck should be newly devised.

(V) REFERENCES

KURODA, N. 1958. A list of figures of hybrid duck tribes of the world. Annot. Zool. Jap. **31**: 176-183.

ONISHI, N., KATO, Y. & FUTAMURA, K. 1955. Studies on the artificial insemination in ducks (Japanese with English summary). Bull. Nat. Inst. Agric. Sci., Series G. No. 11, 1-16.

ONISHI, N. & KATO, Y. 1955. On the mule duck production by means of a new artificial insemination technic (Japanese with English summary). Ibid., Series G. No. 11, 17-31.

Taichung Animal Industry Association. 1943. Survey of duck raising (Japanese). Report of The Taiwan Animal Industry Association (Taiwan Chikusan-kaihô). **5**: 10, 85-109.

WATANABE, M. & SUGIMORI, Y. 1957. Studies on the artificial insemination in ducks. Zootecnica e Veterinaria, Anno XII, N. 3: 119-124.

WATANABE, M. 1957 An improved technique of the artificial insemination in ducks. J. Fac. Fish. Anim. Husb. Hiroshima Univ. **1**: 363-370.

YAMASHINA, Y. 1950. Duck hybridization by artificial insemination. Tori, **13**: 1-4.

EXPLANATION OF PLATE I

Fig. 1. A Muscovy drake employed for collecting the semen.

Fig. 2. A Common duck (No. 32) artificially inseminated with the Muscovy semen.

Fig. 3. Five hybrid ducklings procured by artificial insemination, 2 weeks old.

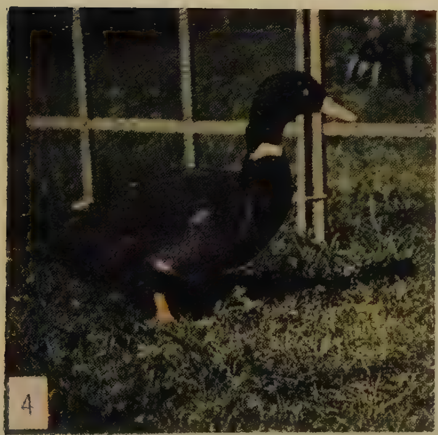
Fig. 4. A male mule-duck (No. 1), procured by artificial insemination.

Fig. 5. A female mule-duck (No. 2), procured by artificial insemination.











WATANABE: Partial Infertility of Intergeneric Hybrid Eggs

Die Vitamine der Kuhmilch : Ein Sammelreferat

YÛZÔ ANAGAMA

Institut für Tierzuchtlehre der Fakultät für Fischerei- u. Tierzuchtlehre an der Universität Hiroshima, Fukuyama, Japan

(Tabellen 1-40)

Die Kuhmilch ist eine wichtige Quelle der fast sämtlichen Vitamine, besonders für Säuglinge. In den letzten ca. 25 Jahren wurden grosse Fortschritte in den Vitaminbestimmungsmethoden gemacht, und es gibt viele Berichte über den Gehalt der Kuhmilch an Vitaminen. Ich möchte auf diese Literaturen einen Blick werfen, aber ihrer sind so viele, dass ich mich mit einigen Ausnahmen auf den Zeitabschnitt von 1945 bis 1958 beschränke.

(I) Vitamin A

Tabelle 1 gibt eine Zusammenstellung der Untersuchungen über den Vitamin A Gehalt der Kuhmilch.

Tabelle 1. Vitamin A Gehalt der Kuhmilch

Autoren	Vitamin A(I.E./100 ml)	Anmerkungen
HOLM[1]	180	USA
ROGICK & ROGICK[2]	97～327 (214)	Regenzeit, Brasilien
	58～223 (142)	Trockne Jahreszeit, 〃
LUECK *et al.*[3]	1604	Kolostrum, Jerseymilch
	208	〃 , Holsteinmilch
STEFANIAK *et al.*[4]	90	Maissilagefütterung
	99	Luzernesilagefütterung
VALDMAN[5]	113	Lettland
	3200	Kolostrum, Sommer
	680	〃 , Winter
DEKKER & ENGEL[6]	70～85	Frischmilch
	70～85	Pasteurisierte Milch
	70～85	Sterilisierte Milch
KRUISHEER & den HERDER[7]	192	Weidefütterung, Holland
	126	Stallfütterung, 〃
	167	Mittel, 〃
ÔHARA & YOSHIDA[8]	79～143 (113)	Hokkaido, Japan
VALLE[9]	160	Guatemala
VASA[10]	145	Tschechoslowakei
VALENZUELA[11]	261	Peru
DAVIDOV & ERMAKOVA[12]	64	Weidefütterung, UdSSR
	36	Stallfütterung, 〃
NAKANISHI[13]	25～86	Sendai-shi, Japan

SAMPATH *et al.*[14]	129～179	Indien
ADAM & GUTHEIL[15]	59～74	
MACKROTT[16]	100～120	
GAZO & LANDAU[17]	82 9	Grünfütterung, Tschechoslowakei Winterstallfütterung, 〃
FRAGNER *et al.*[18]	120 16	Juli, 〃 März, 〃
SERGEEV[19]	124 Spur	August, UdSSR März u. April, 〃
TEPLY *et al.*[20]	98	USA

Tabelle 2 gibt eine Zusammenstellung der Untersuchungen über den Vitamin A Gehalt pro 1 g Milchfett.

Tabelle 2. Vitamin A Gehalt pro 1 g Milchfett

Autoren	Vitamin A (I. E.)	Anmerkungen
LORD[21]	31 15	Weidefütterung, Ayrshiremilch Stallfütterung, 〃
DEARDEN *et al.*[22]	28 15	Sommer, England Winter, 〃
BARNICOAT[23]	42～53 33～37	Spätwinter u. Frühling, Neuseeland Spätsommer, 〃
THOMPSON *et al.*[24]	26 18	Sommer, England Winter, 〃
MCDOWELL & MCDOWALL[25]	34	Süd-Insel, Neuseeland
	32	Nord-Insel, 〃
WHITE *et al.*[26]	29	USA
MUCCIOLO *et al.*[27]	29	Sao Paolo
HAUBOLD & KOLB[28]	280～360 58 18	Kolostrum, Deutschland Sommer, Normalmilch, 〃 Winter, 〃 , 〃
NARAYANAN *et al.*[29]	26	Indien
REINART & NESBITT[30]	20 23 24 24 25 27	Red Poll, Kanada Ayrshire, 〃 Holstein, 〃 Brown Swiss, 〃 Guernsey, 〃 Jersey, 〃

Nach KRUKOVSKY *et al.*[31] zeigt die Tabelle 3 den Gehalt an Carotin, Vitamin A und totale Vitamin A-Aktivität (=0.6 γ Carotin und 0.25γ Vitamin A, jeder für sich als 1 I.E. Vitamin A berechnet) des Milchfettes.

Tabelle 3. Gehalt an Carotin, Vitamin A und totale Vitamin A-Aktivität des Milchfettes

Rinderrasse	Carotin (γ/100g)	Vitamin A(γ/100g)	Totale Vitamin A-Aktivität (I. E./100g)
Holstein	489	580	3135
Brown Swiss	756	677	3968
Jersey	1070	532	3911
Guernsey	1766	485	4883

Aus dieser Tabelle geht hervor, dass von totaler Vitamin A-Aktivität des Milchfettes ca. 25% bei Holsteinmilch, ca. 30% bei Brown Swissmilch, ca. 45% bei Jerseymilch und ca. 60% bei Guernseymilch aus Carotin stammt.

BRENCE & NELSON[32] zeigten den Gehalt an Carotin, Vitamin A und totale Vitamin A-Aktivität des Milchfettes bei Stallfütterung und bei Weidefütterung in Tabelle 4.

Tabelle 4. Gehalt an Carotin, Vitamin A und Vitamin A-Aktivität des Milchfettes

Jahr	Fütterung	Carotin (γ/100g)	Vitamin A(γ/100g)	Totale Vitamin A-Aktivität (I.E./100g)
1945	Stallfütterung	378	651	3446
	Weidefütterung	600	1012	5880
1946	Stallfütterung	397	665	3531
	Weidefütterung	550	994	5218
1947	Stallfütterung	1028	658	4346
	Weidefütterung	1163	789	5095
1948	Stallfütterung	781	622	3787
	Weidefütterung	915	663	4178
1949	Stallfütterung	945	700	4386
	Weidefütterung	847	714	4256

Auch REINART & NESBITT[30] zeigten, dass totale Vitamin A-Aktivität und Prozent des Carotins von totaler Vitamin A-Aktivität des Milchfettes durch Rinderrasse und Jahreszeit beeinflusst wurden (vgl. Tabellen 5 und 6).

Tabelle 5. Totale Vitamin A-Aktivität des Milchfettes (I. E./100g)

Rinderrasee	Weidefütterung	Stallfütterung
Red Poll	3100	1800
Ayrshire	3310	2130
Holstein	3470	2140
Brown Swiss	3430	2210
Jersey	4440	2560
Guernsey	4350	3000

Tabelle 6. Prozent des Carotins von totaler Vitamin A-Akivität des Milchfettes (%)

Rinderrasse	Weidefütterung	Stallfütterung	Mittel
Red Poll	25.3	24.7	24.9
Holstein	29.1	23.7	25.9
Ayrshire	29.2	25.9	27.4
Brown Swiss	27.2	28.4	27.9
Jersey	36.8	28.0	31.6
Guernsey	38.4	38.0	38.2

LORD[21] berichtete, dass bei Ayrshiremilch das Prozent des Carotins von totaler Vitamin A-Aktivität 28% bei Weidefütterung und unter 20% bei Stallfütterung war. In Neuseeland stammt von totaler Vitamin A-Aktivität des Milchfettes nach MCDOWELL

& McDOWALL[25] 26～42 % und nach WORKER & McGILLIVRAY[33] 33～49 % aus Carotin. SASAKI *et al.*[34] in Japan fanden, dass totale Vitamin A-Aktivität des Milchfettes im Mittel 2860 I.E./100g war, und das Prozent des Carotins davon 17.2% war.

HIBBS *et al.*[35] berichteten, dass, wenn die Kühe von Stallfütterung zur Weidefütterung übergingen, anfangs der Carotingehalt der Milch zunahm, aber nicht über eine bestimmte Menge. Auch SEN & RAY SARKAR[36][37] sowie HJARDE & LARSEN[38] berichteten, dass, wenn die Kühe viel Carotin einnahmen, der Gehalt an Carotin und Vitamin A der Milch nicht über eine bestimmte Menge zunahm. Aber die minimale Menge des Carotins für die Produktion des Milchfettes von maximalem Vitamin A Gehalt ist noch nicht bestimmt; sie ist 0.3g pro Kopf und Tag nach HAUGE *et al.*[39] und 2.5 g nach WISEMAN *et al.*[40] Nach McGILLIVRAY[41] in Neuseeland, wo die Kühe das ganze Jahr hindurch auf der Weide gefüttert werden, ist der Carotingehalt der Gräser auf der Weide immer viel, und beträgt das Einnehmen des Carotins von Kühen auf der Weide 4～8 g pro Kopf und Tag. Trotzdem variiert der Vitamin A Gehalt des Milchfettes nach Jahreszeit, wie die Resultate von BARNICOAT[23], McDOWELL & McDOWALL[25], McDOWELL[42], McGILLIVRAY[43] sowie THOMPSON & McGILLIVRAY[44] zeigen. Daher kann man vermuten, dass der Vitamin A Gehalt des Milchfettes durch andere Faktoren ausser dem Einnehmen des Carotins von Kühen beeinflusst wird. Nach McGILLIVRAY & WORKER[45] befindet sich der Faktor in der Umgebung. Es ist noch nicht geklärt, ob Jahreszeit oder Wetter den Stoffwechsel der Kühe und hierdurch den Vitamin A Gehalt des Milchfettes beeinflusst oder nicht. Nur STALLCUP & HERMAN[46] fanden, dass die Lufttemperatur den Vitamin A Gehalt des Milchfettes und des Blutserums der Kühe nicht zu beeinflussen schien. McGILLIVRAY *et al.*[47] berichteten, dass in Neuseeland das Abnehmen der Verwertung des Carotins durch Kühe in einer gewissen Jahreszeit auf den folgenden Faktoren zu beruhen schien: (a) tägliche Variationen des Carotingehaltes der Weide, (b) Variationen des Rohfettes der Weide und (c) Variationen der Hydrierung des Fettes durch Bakterien im Pansen.

Nun, nach den Versuchen von MOORE[48] glaubt man, dass das Carotin im Tierkörper durch das Ferment "Carotinase" sich in Vitamin A umwandelt, wobei die Frage nach dem Sitz dieser Umwandlung noch nicht vollständig geklärt zu sein scheint. OLKOTT & McCANN[49], PARIENTE & RALLI[50] und einige andere Autoren sehen als den Ort der Umwandlung die Leber an, MATTSON *et al.*[51], AMBER *et al.*[52] und noch einige andere Autoren den Darm. BRÜGGEMANN & NIESAR[53] fanden, dass die Carotinase im Eutergewebe vorhanden ist und dass die Kuh in der Lage ist, das im Blute vorhandene Carotin direkt zur Erhöhung des Vitamin A Gehaltes der Milch auszunutzen. In der Tat gibt es nach van ARSDELL *et al.*[54] eine Korrelation zwischen dem Einnehmen des Carotins von Kühen und dem Carotingehalt des Blutserums, aber keine Beziehung zwischen dem Einnehmen des Carotins von Kühen und dem Vitamin A Gehalt des Blutserums. CHURCH *et al.*[55] sowie KON *et al.*[56] berichteten, dass das Rind das in die Vene eingespritzte Carotin nicht in Vitamin A umzuwandeln vermochte. Dagegen ist nach EATON *et al.*[57], WARNER & MAYNARD[58] sowie SCHUH *et al.*[59] das Rind dazu imstande.

PARRISH *et al.*[60], WORKER & McGILLIVRAY[33] sowie McGILLIVRAY[43] berich-

teten, dass das Vitamin A im Milchfett zum kleinen Teile als Alkohol und zum grössten Teile als Ester sich befand. Nach THOMPSON *et al.*(24) befindet sich das Vitamin A im Milchfett mindestens zu 97% als Ester und zu 3% als Alkohol, und nach CHANDA & OWEN(61) sowie CHANDA(62) beträgt das Verhältnis ca. 95% zu ca. 5%. HOCH & HOCH(63) sowie GLOVER *et al.*(64) fanden, dass das Vitamin A im Blut beinahe ganz als Alkohol sich befand, und KON & HENRY(65) vermuteten, dass die Veresterung des Vitamins A in Milchdrüsen stattfand. Nach CHANDA *et al.*(66)(67) sowie MCGILLIVRAY (68) stammt Vitamin A-Ester im Milchfett aus Vitamin A-Ester und VItamin A-Alkohol im Blut.

OLSSON *et al.*(69) berichteten, dass die einzige Weise, den Vitamin A Gehalt der Wintermilch anzureichern, die Vermehrung der Carotin-Verwertung in der Winterration sei. Nach LEROY *et al.*(70)war der Gehalt an Carotin und Vitamin A der Wintermilch nur 25% von dem der Sommermilch, aber wenn 2 g Carotin-Konzentrate aus Palmkernöl pro Kopf und Tag den Kühen gefüttert wurden, stieg der Gehalt zu 75%. Nach KIEFERLE *et al.*(71) reagierten die Milchkühe der Karottengruppe mit 10 kg Karotten pro Kopf und Tag auf ein Mehrangebot an Carotin von 500% gegenüber der Trockenfuttergruppe und von 330% gegenüber der Silogruppe im ersteren Falle mit einer um 49% gesteigerten Auftreten von Wirkstoff (25% Carotin + 24% Vitamin A) und im letzteren Falle mit einer um 47% gesteigerten Auftreten von Wirkstoff (25% Carotin + 22% Vitamin A) bezogen auf Milchfett, und bedingte die Erhöhung des Carotinangebotes der Karottengruppe mit 20 kg Karotten pro Kopf und Tag um 1100% gegenüber der Trockenfuttergruppe und 800% gegenüber der Silogruppe im ersteren Falle einen um 116% vermehrten Gehalt des Milchfettes an Wirkstoff (70% Carotin + 46% Vitamin A) und im letzteren Falle einen um 82% vermehrten Gehalt des Milchfettes an Wirkstoff (42% Carotin + 40% Vitamin A).

KOEHN(72) berichtete, dass die Wintermilch nur wenig Vitamin A und Carotin enthielt, dass aber auf der zeitweiligen Winterweide nach 2 Wochen der Gehalt zur Höhe der Sommermilch gestiegen sei (vgl. Tabelle 7).

Tabelle 7. Der Einfluss der Weidefütterung auf den Vitamin A- und Carotingehalt der Wintermilch

	Dauerweide		Dauerweide + Zeitweilige Winterweide	
	Vitamin A	Carotin	Vitamin A	Carotin
	γ/1 Quart Milch		γ/1 Quart Milch	
Okt. '39	342	380	—	—
Nov.	276	348	—	—
Dez.	220	280	—	—
Jan. '40	167	170	—	—
Feb.	150	100	450	740
März	202	200	430	1150
Apr.	255	350	450	1180
Mai	335	510	500	1200
Juni	410	680	—	—
Juli	465	850	—	—
Aug.	535	1020	—	—
Sep.	385	920	—	—
Okt.	305	470	—	—
Nov.	270	270	—	—
Dez.	220	180	—	—
Jan. '41	200	160	—	—

HANSEN *et al.*[73] versuchten den Einfluss der Heuarten auf den Gehalt an Carotin und Vitamin A der Milch. Ihre Resultate sind in Tabelle 8 zusammengestellt.

Tabelle 8. Der Einfluss der Heuarten auf den Carotin- und Vitamin A Gehalt der Milch

	Künstlich getrocknetes und zerschnittenes Heu	Künstlich getrocknetes und zu Kügelchen geformtes Heu	Heu
Einnehmen des Carotins (mg pro Kopf u. Tag)	801	717	96
Carotin Gehalt der Milch (γ%)	61	42	47
Vitamin A Gehalt der Milch (γ%)	19.8	16.2	17.2

Es gibt viele Versuchsresultate, die zeigen, dass die Versorgung der Kühe mit Lebertran oder Vitamin A den Vitamin A Gehalt der Milch stark erhöht. BLAXTER *et al.*[74] berichteten, dass, wenn 30～60 g Hailebertran (1 g enthählt 80,000 I.E. Vitamin A) den Kühen pro Kopf und Tag gefüttert wurden, der Vitamin A Gehalt des Milchfettes um 1100～1850% zunahm. Auch KALYANAKRISHNAN *et al.*[75] berichteten ein ähnliches Resultat. WISE *et al.*[76] fütterten den Kühen 1,250,000 I.E. Vitamin A pro Kopf und Tag 3 Monate lang und fanden, dass der Vitamin A Gehalt des Milchfettes bedeutend zunahm und der Carotinoidgehalt abzunehmen schien (vgl. Tabelle 9).

Tabelle 9. Der Einfluss der Viamin A Versorgung auf den Gehalt an Vitamin A und Carotinoid des Milchfettes

Vitamin A pro Kopf u. Tag (I.E.)	Rinderrasse	Kuh	Vitamin A Gehalt des Milchfettes (γ/g)	Carotinoidgehalt des Milchfettes (γ/g)
0	Guernsey	2	6.4	5.8
	Holstein	3	7.3	3.4
	Ayrshire	2	7.8	4.1
1,250,000	Guernsey	2	24.1	2.5
	Holstein	3	30.5	4.1
	Ayrshire	2	36.1	1.9

Beeinflusst die Fütterung vor dem Abkalben den Gehalt an Carotin und Vitamin A des Kolostrums? Nach HENRY *et al.*,[77] SUTTON *et al.*,[78] PARRISH *et al.*[79] u. a. war der Carotingehalt des Kolostrums bei den Kühen, die vor dem Abkalben auf der Weide gefüttert wurden, mehr als bei den Kühen, die vor dem Abkalben im Stall gefüttert wurden, aber der Vitamin A Gehalt des Kolostrums war bei beiden fast gleich. SPIELMAN *et al.*[80] fütterten 33 Färsen mit 4 verschiedenartigen Rationen während der letzten 60 Tage vor dem Abkalben und fanden die folgenden Resultate (vgl. Tabelle 10).

Tabelle 10. Der Einfluss der Ernährung vor dem Abkalben auf den Gehalt an Carotin und Vitamin A und auf die totale Vitamin A-Aktivität des Kolostrums

Ration	Sofort nach dem Abkalben	Am 3ten Tag	Am 7ten Tag
	Carotingehalt (γ/100 ml)		
Carotin-arme Ration	85	29	15
Normale Ration	107	49	23
Normale Ration+Carotin	128	75	25
Normale Ration+Vitamin A	125	46	16

Vitamin A Gehalt (γ/100 ml)			
Carotin-arme Ration	278	117	44
Normale Ration	374	123	54
Normale Ration + Carotin	303	137	72
Normale Ration + Vitamin A	687	377	79
Totale Vitamin A-Aktivität (I.E./100 ml)			
Carotin-arme Ration	1245	516	201
Normale Ration	1674	574	254
Normale Ration + Carotin	1425	773	330
Normale Ration + Vitamin A	5850	1584	343

WALKER *et al.*[81] führten einen ähnlichen Versuch aus. Sie fütterten 29 Shorthornkühen 4 verschiedenartige Rationen während 90 Tage vor ihrer erwarteten Abkalbung und fanden die in Tabelle 11 gezeigten Resultate. Die Rationen waren ① normale Ration; ② Vitamin A- und Carotin-arme Ration; ③ normale Ration + Carotin; und ④ normale Ration + Vitamin A.

Tabelle 11. Der Einfluss der Ernährung während der Schwangerschaft auf den Gehalt an Vitamin A und Carotin des Kolostrums

Ration	Zeit nach dem Abkalben							
	3 Stunden	24 Stunden	2 Tage	3 Tage	4 Tage	5 Tage	6 Tage	7 Tage
① Vitamin A (I.E./g Fett)	203	144	83	51	30	27	20	18
Carotinoid (γ/g Fett)	64	43	22	13	6	4	3	3
② Vitamin A (I.E./g Fett)	133	133	77	50	31	21	16	15
Carotinoid (γ/g Fett)	13	9	7	5	3	2	2	2
③ Vitamin A (I.E./g Fett)	197	145	90	64	46	34	29	28
Carotinoid (γ/g Fett)	96	68	37	23	13	9	6	5
④ Vitamin A (I.E./g Fett)	535	414	275	155	92	62	44	37
Carotinoid (γ/g Fett)	47	31	18	11	6	4	3	2

Aus Tabellen 10 und 11 ist ersichtlich, dass ein Mehrangebot an Carotin vor dem Abkalben den Carotingehalt des Kolostrums vermehrte, beeinflusste aber nicht dessen Inhalt an Vitamin A, und dass ein Mehrangebot an Vitamin A den Vitamin A Gehalt des Kolostrums steigerte.

Die Verschiedenheit des Gehaltes an Carotin und Vitamin A des Kolostrums und der Normalmilch ist aus Tabellen 12 und 13 von SUTTON *et al.*[78] zu beobachten.

Tabelle 12. Der Carotingehalt des Kolostrums und der Normalmilch (mg/l)

Rinderrasse (Versuchskuh)	Melken nach der Geburt										
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	20.
Ayrshire (6)	3.73	3.39	1.72	1.23	1.02	0.58	0.63	0.38	0.42	0.37	0.25
Guernsey (8)	8.64	4.72	2.40	1.70	1.29	1.02	0.89	0.64	0.62	0.63	0.52
Holstein (9)	2.89	1.73	1.13	0.98	0.85	0.57	0.42	0.42	0.41	0.35	0.30
Jersey (7)	3.35	2.88	1.80	1.85	1.48	1.55	0.93	0.65	0.60	0.52	0.43
Brown Swiss (5)	4.97	4.20	2.09	1.09	1.09	0.87	0.66	0.53	0.41	0.39	0.41
Mittel	4.73	3.29	1.82	1.36	1.13	0.90	0.69	0.57	0.52	0.46	0.41

Tabelle 13. Der Vitamin A Gehalt des Kolostrums und der Normalmilch (mg/1)

Rinderrasse	Melken nach der Geburt										
(Versuchskuh)	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	20.
Ayrshire (6)	1.82	2.12	1.17	0.89	0.74	0.42	0.48	0.39	0.36	0.38	0.48
Guernsey (8)	2.79	1.29	0.86	0.55	0.40	0.33	0.32	0.27	0.26	0.27	0.21
Holstein (9)	1.69	1.29	0.75	0.73	0.68	0.49	0.42	0.45	0.45	0.42	0.45
Jersey (7)	1.44	1.36	1.05	0.97	0.97	0.84	0.68	0.44	0.44	0.39	0.52
Brown Swiss (5)	3.48	2.47	1.02	0.98	0.70	0.54	0.44	0.39	0.35	0.27	0.51
Mittel	2.40	1.62	1.96	0.79	0.68	0.51	0.46	0.38	0.37	0.35	0.40

Der Gehalt an Carotin und Vitamin A des sofort nach der Geburt gemolkenen Kolostrums ist jeder für sich 10 und 6 fach so gross als derjenige der nach 10 Tage gemolkenen Normalmilch. (Die Kühe wurden 2 Mal am Tag gemolken.)

Wie verändert sich der Gehalt an Carotin und Vitamin A der Normalmilch während der Dauer der Laktation ? Diese Frage ist noch nicht vollständig geklärt. SINGH & MOHAMMED[82] sagten, dass bei Sahiwalrind der Carotingehalt der Milch ziemlich konstant war, aber der Vitamin A Gehalt mit fortschreitender Laktation zunahm und besonders am Laktationsende schnell zunahm. Dagegen meinten WINZENRIED & WANNTORP[83], dass der Gehalt an Carotin und Vitamin A der Milch am Laktationsende abzunehmen schien. BARNICOAT[23], RAY SARKAR[84], STALLCUP & HERMAN[46] sowie MCDOWELL[42] berichteten, dass der Gehalt an Carotin und Vitamin A der Milch während der Dauer der Laktation sich kaum veränderte. HIBBS *et al.*[35] fanden, dass der Carotinoidgehalt des Milchfettes während der Dauer der Laktation sich kaum veränderte. Nach CHANDA[85] war der Carotingehalt des Milchfettes gleich in der 4ten und 40sten Woche nach der Geburt, aber der Vitamin A Gehalt des Milchfettes nahm bis zur 30sten Woche allmählich ab und nachher zu.

ROGICK & ROGICK[2] berichteten, dass der Prozentsatz der Zerstörung des Carotins und Vitamins A 20% und 19% jeder für sich bei der Dauerpasteurisierten Milch und 42% und 39% jeder für sich bei der aufgekochten Milch betrug. Nach DEKKER & ENGEL[6](86) wurde der Gehalt an Carotin und Vitamin A der Milch durch Sterilisierung kaum verändert.

BOISSELOT & CAUSERET[87] u.a. fanden, dass die Ultraviolettbestrahlung, die für die Anreicherung des Vitamins D erforderlich war, das Vitamin A und das Carotin in der Milch kaum zerstörte.

(II) Vitamin B_1 (Thiamin)

Tabelle 14 gibt eine Zusammenstellung der Untersuchungen über den Vitamin B_1 Gehalt der Kuhmilch.

MARSH *et al.*[90] berichteten, dass der Vitamin B_1 Gehalt der Milch durch Fütterung nicht beeinflusst wurde. DAVIDOV & GULKO[91][95] sagten, dass derselbe durch Fütterung, Laktationszeit oder Jahreszeit nicht beeinflusst wurde. Nach ÔHARA & YOSHIDA[8] war der Vitamin B_1 Gehalt der Milch etwas grösser im Sommer, aber die jahreszeit-

Tabelle 14. Vitamin B_1 Gehalt der Kuhmilch

Autoren	Vitamin B_1 (γ/100 ml)	Anmerkungen
HOLMES *et al.*[88]	36	USA
DEARDEN *et al.*[22]	42 34	Sommer, England Winter, 〃
MCDOWALL *et al.*[89]	29∼56 32∼88	Holstein Jersey
MARSH *et al.*[90]	34 44	Holstein Jersey
DAVIDOV & GULKO[91]	41∼49 52 33	Frühling u. Sommer Herbst Winter
VENKATESWARA & BASU[92]	45∼54	Zeburind
DEKKER & ENGEL[6]	31∼38 30∼35 20∼25	Frischmilch Pasteurisierte Milch Sterilisierte Milch
ÔHARA & YOSHIDA[8]	25∼35 (30)	Hokkaido, Japan
ROEDER[93]	40	
KNAUT[94]	42 39	Rohmilch Gekochte Milch
DAVIDOV & GULKO[95]	44	UdSSR
FRAGNER *et al.*[18]	70 30	Juni, Tschechoslowakei November, 〃
CHAPMAN *et al.*[96]	46	England
TEPLY *et al.*[20]	44	USA

lichen Schwankungen waren klein.

HOLMES *et al.*[88] fanden, dass Hoch- und Kurzzeiterhitzung ca. 3% Vitamin B_1 in der Milch zerstörte. Das Vitamin B_1 in der Milch wurde durch Dauerpasteurisierung kaum nach DAVIDOV & GULKO[91] und durch Sterilisierung um 14∼30% nach DEKKER & ENGEL[6][86] und um 50% nach WAGNER[97] zerstört. Chapman *et al.*[96] berichteten die folgenden Zahlen als die Prozentsätze der Zerstörung von Vitamin B_1 durch verschiedene Bearbeitung und Verarbeitung der Milch (vgl. Tabelle 15).

Tabelle 15. Der Prozentsatz der Zerstörung von Vitamin B_1 durch verschiedene Bearbeitung und Verarbeitung der Milch (%)

Hoch- u. Kurzzeiterhitzung (72°C: 15 Sek.)	Sterilisierung (111°C: 30 min.)	Uperisation (135°C: 2 Sek.)	Evaporierte Milch	Kondensmilch	Walzenpulver	Zerstäubungspulver	
						150°C	180°C
<10	40∼50	<10	30∼40	10∼20	20∼30	<10	10∼15

TSUGÔ & UEHARA[98] fanden, dass das Vitamin B_1 in der Milch durch Milchsäuregärung nicht beeinflusst wurde.

FUHR *et al.*[99] berichteten, dass die Ultraviolettbestrahlung, die für die Anreicherung des Vitamins D erforderlich war, das Vitamin B_1 in der Milch kaum zerstörte.

(III) Vitamin B_2 (Riboflavin)

Tabelle 16 gibt eine Zusammenstellung der Untersuchungen über den Vitamin B_2

Gehalt der Kuhmilch.

Tabelle 16. Vitamin B_2 Gehalt der Kuhmilch

Autoren	Vitamin B_2 (γ/100 ml)	Anmerkungen
DEARDEN *et al.*[22]	128 84	Sommer, England Winter, 〃
THEOPHILUS & STAMBERG[100]	138～356 (218) 88～223 (144)	Jersey Holstein
PEARSON & DARNELL[101]	610 180	Kolostrum Normalmilch
LUECKE *et al.*[102]	290～900	Kolostrum
McDOWALL *et al.*[89]	190～330 140～280	Jersey Holstein
MARSH *et al.*[90]	178 98	Jersey Holstein
DAVIDOV & GULKO[91]	80～117	UdSSR
YOUNG *et al.*[103]	233 170	Jersey Holstein
MONZINI & ARTOM[104]	115 83	Sommer, Italien Winter, 〃
ANTONIANI[105]	115 80	Frühling u. Sommer, 〃 Winter, 〃
CLEMOW[106]	200	Neuseeland
VENKATESWARA & BASU[92]	132～169	Indien
FRENCH *et al.*[107]	240	
HOFF-JÖRGENSEN *et al.*[108]	170	
WAGNER[97]	15～175	Deutschland
DEKKER & ENGEL[6]	185～230 185～230 185～230	Frischmilch Pasteurisierte Milch Sterilisierte Milch
ÔHARA & YOSHIDA[8]	112～151 (131)	Hokkaido, Japan
ROEDER[93]	170	
HELLSTRÖM & ÅKERBERG[109]	202 180	Sommer, Schweden Winter, 〃
GREGORY *et al.*[110]	70～230	England
KNAUT[94]	192 187	Rohmilch Gekochte Milch
FUNAI[111]	198 179	Rohmilch Pasteurisierte Milch
FRAGNER *et al.*[18]	350 120	September, Tschechoslowakei Mai, 〃
FORD *et al.*[112]	100～140	England
HERRERA & ALBACETE[113]	140～266	Madrid
CHAPMAN *et al.*[96]	160	England
TEPLY *et al.*[20]	160	USA
GREGORY *et al.*[114]	132 98 120	Holstein Shorthorn Gemischte Milch, Winter

Nach MARSH *et al.*[90] wird der Vitamin B_2 Gehalt der Milch durch Fütterung nicht beeinflusst. Aber THEOPHILUS & STAMBERG[100] fanden, dass die Ergänzung der Ration von Trockenfutter und Kraftfutter mit grosser Menge Silagefutter den Vitamin B_2

Gehalt der Milch um 36% innerhalb 2 Tage vermehrte.

THEOPHILUS & STAMBERG(100), PEARSON & DARNELL(101), SUTTON *et al.*(78), FORD *et al.*(112) sowie GREGORY *et al.*(114) berichteten, dass der Vitamin B_2 Gehalt der Milch im Kolostrum grösser war als in der Normalmilch. Der Gehalt nahm schnell ab und erreichte den normalen Wert nach PEARSON & DARNELL(101) am 4ten Tag, nach GREGORY *et al.*(114) am 7ten Tag und nach FORD *et al.*(112) ungefähr am 14ten Tag nach der Geburt. THEOPHILUS & STAMBERG(100) zeigten die folgenden Zahlen in Tabelle 17 und SUTTON *et al.*(78) in Tabelle 18.

Tabelle 17. Der Vitamin B_2 Gehalt des Kolostrums und der Normalmilch (γ/100 ml)

Zeit nach der Geburt	Jersey		Holstein	
	1	2	1	2
<10 Stden	501	583	638	541
1 Tag	368	415	434	346
2 Tage	281	277	268	297
3 〃	275	279	219	291
4 〃	—	252	189	223
5 〃	270	241	195	207
6 〃	253	233	182	213
7 〃	237	233	181	194
8 〃	222	234	183	206
—	—	—	—	—
20 〃	197	238	177	189

Tabelle 18. Der Vitamin B_2 Gehalt des Kolostrums und der Normalmilch (γ/100 ml)

Rinderrasse (Versuchskuh)	Melken nach der Geburt										
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	20.
Ayrshire (6)	695	405	264	213	196	190	185	182	164	160	154
Guernsey (8)	738	458	290	265	280	275	265	260	258	252	247
Holstein (9)	483	271	185	180	176	173	166	144	142	144	147
Jersey (7)	634	400	321	287	264	233	205	226	224	216	195
Brown Swiss (5)	552	300	174	174	170	168	160	167	182	182	156

Einige FORSCHER(22)(104)(105)(109) zeigten, dass der Vitamin B_2 Gehalt der Milch im Sommer höher war als im Winter. Nach THEOPHILUS & STAMBERG(100) sowie ÔHARA & YOSHIDA(8) war der Gehalt das ganze Jahr hindurch fast konstant.

THEOPHILUS & STAMBERG(100), FORD *et al.*(112) sowie GREGORY *et al.*(114) berichteten, dass der Vitamin B_2 Gehalt der Milch durch Rinderrasse, Individualität und Tagesschwankung beeinflusst wurde.

Nach THEOPHILUS & STAMBERG(100) war der Gehalt an Vitamin B_2 der Milch in Morgen-, Mittags- und Abendmilch bei derselben Kuh fast konstant und wurde durch Laktationszeit, Brunst oder Trächtigkeit kaum beeinflusst.

Das Vitamin B_2 in der Milch wurde durch Dauerpasteurisierung kaum nach DAVIDOV & GULKO(91) sowie THEOPHILUS & STAMBERG(100), um 4.9~9.5% nach CLEMOW(106) und um 5% nach MONZINI & ARTOM(104) sowie ANTONIANI(105) zerstört und durch Sterilisierung kaum nach DEKKER & ENGEL(6) verändert. MONZINI & ARTOM(104) sowie ANTONIANI(105) fanden, dass das Vitamin B_2 in der Milch durch Aufkochen von

2 Minuten bei 100°C um 3.5% und durch Aufkochen von 1 Stunde um 9~10% zerstört wurde. CHAPMAN *et al.*(96) berichteten die folgenden Zahlen als die Prozentsätze der Zerstörung von Vitamin B_2 durch verschiedene Bearbeitung und Verarbeitung der Milch (vgl. Tabelle 19).

Tabelle 19. Der Prozentsatz der Zerstörung von Vitamin B_2 durch verschiedene Bearbeitung und Verarbeitung der Milch (%)

Hoch- u. Kurz-zeiterhitzung (72°C: 15 Sek.)	Sterilisierung (111°C: 30 Min.)	Uperisation (135° C: 2 Sek.)	Evaporierte Milch	Kondens-milch	Walzen-pulver	Zerstäubungspulver	
						150°C	180°C
0	<10	<10	0	<10	10~15	<10	<10

MONZINI & ARTOM(104) fanden, dass das Vitamin B_2 in der Milch durch Milchsäuregärung von *S. thermophilus* und *L. bulgaricus* sich von 137γ/100 ml zu 101γ/100 ml innerhalb 48 Stunden verringerte, aber danach wieder sich vermehrte und nach 456 Stunden 169 γ/100 ml erreichte.

Das Vitamin B_2 in der Milch wurde durch die Ultraviolettbestrahlung, die für die Anreicherung des Vitamins D erforderlich war, kaum nach FUHR *et al.*(99) und um ca. 7% nach DIEMAIR *et al.*(115) zerstört. Nach STAMBERG & THEOPHILUS(116), SHETLAR *et al.*(117), JOSEPHSON *et al.*(118), HERREID *et al.*(119) sowie KON & THOMPSON(120) zerstörte das Sonnenlicht das Vitamin B_2 in der Milch. STAMBERG & THEOPHILUS(116) fanden, dass die Bestrahlung des direkten Sonnenlichtes das Vitamin B_2 in 1 Quart Milch in Glasflasche um 40% nach 2 Stunden und um 80% nach 6 Stunden zerstörte, aber in brauner Glasflasche oder Papierbehälter um nur unter 10% nach 6 Stunden.

(IV) Biotin

Tabelle 20 gibt eine Zusammenstellung der Untersuchungen über den Biotingehalt der Kuhmilch.

Tabelle 20. Biotingehalt der Kuhmilch

Autoren	Biotin (γ/100 ml)	Anmerkungen
HODSON(121)	3.2~8.4 (4.7)	
STEFANIAK & PETERSON(122)	1.8~3.7 (2.9)	
LAWRENCE *et al.*(123)	0.2~5.6 (2.0)	Normalmilch
	0.1~9.1	Kolostrum
RITTER(124)	2.3	
HOFF-JÖRGENSEN *et al.*(108)	1.6	
FORD *et al.*(125)	1.6	
HOEFLAKE(126)	1.3~3.2 (2.0)	
ROEDER(93)	1~3	
GREGORY *et al.*(110)	2~6	
FORD *et al.*(112)	1.3~2.1	England
CHAPMAN *et al.*(96)	1.9	〃
GREGORY *et al.*(114)	2.7	Holstein
	2.8	Shorthorn
	2.2	Gemischte Milch, Winter

Nach LAWRENCE *et al.*[123], FORD *et al.*[112] sowie GREGORY *et al.*[114] wird der Biotingehalt der Milch durch Individualität der Kühe und Tagesschwankung bedeutend beeinflusst. Der Biotingehalt ist gering in dem ersteren Teil des Kolostrums und erreicht den höchsten Wert nach 4~7 Tagen[112] nach der Geburt, nimmt schnell ab und erreicht den normalen Wert nach ca. 7 Tagen[114][123] nach der Geburt oder während des lsten Monats[112]. LAWRENCE *et al.*[123] sowie HOEFLAKE[126] berichteten, dass der Biotingehalt der Milch durch Jahreszeit kaum beeinflusst wurde. STEFANIAK & PETERSON[122] sagten, dass der Biotingehalt durch Fütterung beeinflusst wurde.

CHAPMAN *et al.*[96] berichteten die folgenden Zahlen als die Prozentsätze der Zerstörung von Biotin durch verschiedene Bearbeitung und Verarbeitung der Milch (vgl. Tabelle 21).

Tabelle 21. Der Prozentsatz der Zerstörung von Biotin durch verschiedene Bearbeitung und Verarbeitung der Milch (%)

Hoch- u. Kurzzeiterhitzung (72°C: 15 Sek.)	Sterilisierung (111°C: 30 Min.)	Uperisation (135° C: 2 Sek.)	Evaporierte Milch	Kondensmilch	Walzenpulver	Zerstäubungspulver	
						150°C	180°C
<10	<10	<10	10~15	10~15	10~15	10~15	10~15

(V) Nikotinsäure (Niacin)

Tabelle 22. Nikotinsäuregehalt der Kuhmilch

Autoren	Nikotinsäure (γ/100 ml)	Anmerkungen
HODSON[121]	70~110 (90)	
STEFANIAK & PETERSON[122]	60~100 (80)	
LAWRENCE *et al.*[123]	20~100 (60)	
PEARSON & DARNELL[101]	100	Kolostrum
LUECKE *et al.*[102]	60~170 (90)	〃
MCDOWALL *et al.*[89]	80~150 (100)	
MARSH *et al.*[90]	104 82	Jersey Holstein
KODICEK & PEPPER[127]	70~110 (100)	
DAVIDOV & GULKO[128]	138~156 (150)	
VENKATESWARA & BASU[92]	78~83	Zeburind
FRENCH *et al.*[107]	150	
HOFF-JÖRGENSEN *et al.*[108]	73	
FORD *et al.*[125]	60	
HOEFLAKE[126]	70~101	
ROEDER[93]	50~400	
GREGORY *et al.*[110]	25~120	
FORD *et al.*[112]	45~130	England
CHAPMAN *et al.*[96]	72	〃
TEPLY *et al.*[20]	84	USA
GREGORY *et al.*[114]	52 49 67	Holstein Shorthorn Gemischte Milch, Winter

Tabelle 22 gibt eine Zusammenstellung der Untersuchungen über den Nikotinsäuregehalt der Kuhmilch.

Nach McDOWALL *et al.*(89) sowie GREGORY *et al.*(114) wird der Nikotinsäuregehalt der Milch durch Rinderrasse kaum beeinflusst. LAWRENCE *et al.*(123), FORD *et al.*(112) sowie GREGORY *et al.*(114) fanden, dass der Nikotinsäuregehalt der Milch durch Individualität der Kühe beeinflusst wurde. FORD *et al.*(112) sowie GREGORY *et al.*(114) sagten, dass der Nikotinsäuregehalt der Milch bei einer und derselben Kuh von Tag zu Tag variierte. Dagegen berichteten LAWRENCE *et al.*(123), dass derselbe von Tag zu Tag kaum variierte.

FORD *et al.*(112) sowie GREGORY *et al.*(114) fanden, dass der Nikotinsäuregehalt des Kolostrums viel war, allmählich abnahm, im 4～5ten Monat nach der Geburt den minimalen Wert erreichte und danach wieder zunahm.

Nach LAWRENCE *et al.*(123) war der Nikotinsäuregehalt der Milch im Spätwinter und Frühling klein und erreichte im Oktober den höchsten Wert; nach HOEFLAKE(126) war er im Winter und Frühling klein und erreichte im Juni den höchsten Wert.

DAVIDOV & GULKO(128) berichteten, dass der Nikotinsäuregehalt der Milch bei Stallfütterung um ca. 14% mehr als bei Weidefütterung war.

MARSH *et al.*(90) fanden, dass der Nikotinsäuregehalt der Milch durch Fütterung von Nikotinsäure an Kühe nicht beeinflusst wurde.

Nach HODSON(121) wird die Nikotinsäure in der Milch durch Pasteurisierung, Kondensierung oder Trocknung nicht zerstört. CHAPMAN *et al.*(96) berichteten die folgenden Zahlen als die Prozentsätze der Zerstörung von Nikotinsäure durch verschiedene Bearbeitung und Verarbeitung der Milch (vgl. Tabelle 23). Wie Tabelle 23 zeigt, wurde

Tabelle 23. Der Prozentsatz der Zerstörung von Nikotinsäure durch verschiedene Bearbeitung und Verarbeitung der Milch (%)

Hoch- u. Kurzzeiterhitzung (72° C: 15 Sek.)	Sterilisierung (111°C: 30 Min.)	Uperisation (135° C: 2 Sek.)	Evaporierte Milch	Kondensmilch	Walzenpulver	Zerstäubungspulver	
						150°C	180°C
0	0	0	0	0	0	0	0

die Nikotinsäure in der Milch durch diese Behandlung gar nicht zerstört.

HODSON(121) fand, dass die Nikotinsäure in der Milch durch Sonnenlichtbestrahlung nicht zerstört wurde.

(VI) Pantothensäure

Tabelle 24 gibt eine Zusammenstellung der Untersuchungen über den Pantothensäuregehalt der Kuhmilch.

Nach PEARSON & DARNELL(101), LAWRENCE *et al.*(123), FORD *et al.*(112) sowie GREGORY *et al.*(114) variierte der Pantothensäuregehalt der Milch nach Individualität der Kühe, und die Variation von Tag zu Tag war bei einer und derselben Kuh kleiner als die von Biotin.

Der Pantothensäuregehalt der Milch erreichte den grössten Wert nach 4～7 Tagen(112),

Tabelle 24. Pantothensäuregehalt der Kuhmilch

Autoren	Pantothensäure (γ/100 ml)	Anmerkungen
HODSON[121]	190∼420 (310)	
STEFANIAK & PETERSON[122]	270∼450 (340)	
PEARSON & DARNELL[101]	370 220	Normalmilch Kolostrum
LAWRENCE *et al.*[123]	350	
LUECKE *et al.*[102]	100∼420 (210)	Kolostrum
MARSH *et al.*[90]	341 275	Jersey Holstein
HAUDINIÈRE[129]	280∼370	
HOFF-JÖRGENSEN *et al.*[108]	280	
HOEFLAKE[126]	210∼360 (290)	
FORD *et al.*[125]	400	
ROEDER[93]	280∼360	
GREGORY *et al.*[110]	110∼570	
CATELLANI[130]	350 580	April Mai
FORD *et al.*[112]	280∼550	England
CHAPMAN *et al.*[96]	260	〃
TEPLY *et al.*[20]	450	USA
GREGORY *et al.*[114]	296 287 370	Holstein Shorthorn Gemischte Milch, Winter

9 Tagen[101][123] oder 4∼14 Tagen[114] nach der Geburt und nahm danach allmählich ab.

STEFANIAK & PETERSON[122] sowie HOEFLAKE[126] fanden, dass der Pantothensäuregehalt der Milch durch Jahreszeit oder Fütterung kaum beeinflusst wurde, und MARSH *et al.*[90] fanden, dass der Pantothensäuregehalt der Milch durch Fütterung von Pantothensäure an Kühe nicht beeinflusst wurde. Dagegen sagte CATELLANI[130], dass derselbe durch Jahreszeit und Fütterung beeinflusst wurde.

Nach HODSON[121] wird die Pantothensäure in der Milch durch Dauerpasteurisierung, Kondensierung oder Trocknung nicht zerstört. CHAPMAN *et al.*[96] berichteten die folgenden Zahlen als die Prozentsätze der Zerstörung von Pantothensäure durch verschiedene Bearbeitung und Verarbeitung der Milch (vgl. Tabelle 25).

Tabelle 25. Der Prozentsatz der Zerstörung von Pantothensäure durch verschiedene Bearbeitung und Verarbeitung der Milch (%)

Hoch- u. Kurzzeiterhitzung (72° C: 15 Sek.)	Sterilisierung (111°C: 30 Min.)	Uperisation (135° C: 2 Sek.)	Evaporierte Milch	Kondensmilch	Walzenpulver	Zerstäubungspulver	
						150°C	180°C
0	<10	0	<10	<10	<10	<10	<10

HODSON[121] fand, dass die Pantothensäure in der Milch durch Sonnenlichtbestrahlung nicht zerstört wurde.

(VII) Vitamin B_6

Tabelle 26 gibt eine Zusammenstellung der Untersuchungen über den Vitamin B_6 Gehalt der Kuhmilch.

Tabelle 26. Vitamin B_6 Gehalt der Kuhmilch

Autoren	Vitamin B_6 (γ/100 ml)	Anmerkungen
RABINOWITZ *et al.*(131)	32	
HOFF-JÖRGENSEN *et al.*(108)	56	
FORD *et al.*(125)	37	
FUKUI *et al.*(132)	36	
HASSINEN *et al.*(133)	58	
ROEDER(93)	150	
GREGORY *et al.*(110)	5~97	
FORD *et al.*(112)	21~36	England
CHAPMAN *et al.*(96)	22	〃
TEPLY *et al.*(20)	75	USA
GRYGORY *et al.*(114)	21	Holstein
	21	Shorthorn
	31	Gemischte Milch, Winter
MÜLLER *et al.*(134)	29	Vorzugsmilch (roh, Winter)
	28	〃 (gekocht, 〃)
	31	Pasteurisierte Milch(roh, 〃)
	32	〃 (gekocht, 〃)

Nach dem heutigen Stand unserer Kenntnisse gehören zu Vitamin B_6 Pyridoxin, Pyridoxal und Pyridoxamin, und das Vitamin B_6 in der Frischmilch ist nach RABINOWITZ & SNELL(135) hauptsächlich Pyridoxal und Pyridoxamin und nach KREHL(136) hauptsächlich Pyridoxal.

FORD *et al.*(112) sowie GREGORY *et al.*(114) berichteten, dass der Vitamin B_6 Gehalt der Milch durch Individualität und Tagesschwankung beeinflusst wurde. FORD *et al.*(112) fanden, dass der Gehalt nach 4~7 Tagen nach der Geburt den höchsten Wert erreichte und danach allmählich abnahm. GREGORY *et al.*(114) fanden, dass der Gehalt nach 7~14 Tagen nach der Geburt den höchsten Wert erreichte und danach abnahm.

Nach DEBRIT(137) sowie KREHL(136) wird das Vitamin B_6 in der Milch durch Pasteurisierung nicht zerstört, und KREHL(136) fand, dass Pyridoxal in der Milch durch Sterilisierung, in Anwesenheit von Aminosäure und Eiweiss, partiell zu Pyridoxamin umgewandelt wurde.

CHAPMAN *et al.*(96) berichteten die folgenden Zahlen als die Prozentsätze der Zerstörung von Vitamin B_6 durch verschiedene Bearbeitung und Verarbeitung der Milch (vgl. Tabelle 27).

Tabelle 27. Der Prozentsatz der Zerstörung von Vitamin B_6 durch verschiedene Bearbeitung und Verarbeitung der Milch (%)

Hoch- u. Kurzzeiterhitzung (72° C: 15 Sek.)	Sterilisierung (111°C: 30 Min.)	Uperisation (135° C: 2 Sek.)	Evaporierte Milch	Kondensmilch	Walzenpulver	Zerstäubungspulver	
						150°C	180°C
<10	0	0	<10	10~15	0	0	0

DEBRIT[137] berichtete, dass das Vitamin B_6 in der Milch durch Licht etwas zerstört wurde. Nach HELLSTRÖM[138] wurde das Vitamin B_6 in der Milch durch Sonnenlichtbestrahlung um 10~25% in 1 Stunde und um 15~45% in 2 Stunde zerstört.

(VIII) Vitamin B_{12} (Cobalamin)

Tabelle 28 gibt eine Zusammenstellung der Untersuchungen über den Vitamin B_{12} Gehalt der Kuhmilch.

Tabelle 28. Vitamin B_{12} Gehalt der Kuhmilch

Autoren	Vitamin B_{12} (γ/100 ml)	Anmerkungen
SREENIVASAMURTHY *et al.*[139]	0.15	Zeburind
ANTHONY *et al.*[140]	0.3 ~2.2 (0.87) 0.4 ~1.3 (0.69)	Morgenmilch, Jersey Abendmilch, 〃
UEDA *et al.*[141]	0.76	Jersey
COLLINS *et al.*[142]	0.32~1.24 (0.66)	USA
SREENIVASAMURTHY *et al.*[143]	0.27~0.72 0.43~0.90	Zeburind Hybride
COLLINS *et al.*[144]	0.26~0.38 0.34~0.44 0.58~3.80	Rohmilch, USA Pasteurisierte Milch, 〃 Kolostrum sofort nach der Geburt
KOETSVELD[145]	0.63 1.11	Stallfütterung, Holland Weidefütterung, 〃
SATÔ[146]	0.24	
FORD *et al.*[125]	0.3	
KARLIN[147]	0.32~0.48 (0.39)	Frankreich
RUSOFF & HAQ[148]	0.17~0.41	Holstein, USA
GREGORY *et al.*[110]	0.13~1.15	England
HARTMAN *et al.*[149][150]	0.55~0.94 (0.71)	
FORD *et al.*[112]	0.16~0.41	England
NURMIKKO & VIRTANEN[151][152]	0.39 0.28~0.49 (0.39) 0.30~0.49 (0.40)	Finnland Morgenmilch, 〃 Abendmilch, 〃
SELIVANOV[153]	0.54	UdSSR
CHAPMAN *et al.*[96]	0.32	England
TEPLY *et al.*[20]	0.38	USA
GREGORY *et al.*[114]	0.43 0.44	Holstein Shorthorn
DAVIDOV & KRUGLOVA[154]	0.35 0.39 0.54 0.44	Frühling, UdSSR Sommer, 〃 Herbst, 〃 Winter, 〃

Nach dem heutigen Stand unserer Kenntnisse gehören zu Vitamin B_{12} Cyanocobalamin, Hydroxocobalamin, Nitrosocobalamin u.a., und das Vitamin B_{12} in der Kuh- und Büffelmilch ist hauptsächlich Cyanocobalamin und das in der Frauenmilch ca. 50% Cyanocobalamin[143].

DAVIDOV & KRUGLOVA[154] berichteten, dass der Vitamin B_{12} Gehalt durch Rinderrasse und Individualität der Kühe bedeutend beeinflusst wurde. Aber HARTMAN *et*

al.[149][150] fanden keinen Unterschied zwischen dem Gehalt der Holsteinmilch und dem der Jerseymilch und FORD *et al.*[112] sowie GREGORY *et al.*[114] zwischen dem Gehalt der Holsteinmilch und dem der Schorthornmilch.

FORD *et al.*[112], GREGORY *et al.*[114] sowie NURMIKKO & VIRTANEN[151][152] berichteten, dass der Vitamin B_{12} Gehalt der Milch durch Individualität und Tagesschwankung bedeutend beeinflusst wurde.

Nach FORD *et al.*[112] sowie GREGORY *et al.*[114] war der Vitamin B_{12} Gehalt in Kolostrum am grössten, nahm schnell ab und erreichte den normalen Wert nach ca. 2 Wochen nach der Geburt. DAVIDOV & KRUGLOVA[154] sagten, dass der Gehalt in der letzten Laktationszeit zuzunehmen schien. Der Vitamin B_{12} Gehalt des Kolostrums und der Normalmilch ist nach ANTHONY *et al.*[140] in Tabelle 29 und nach COLLINS *et al.*[144] in Tabelle 30 gezeigt.

Tabelle 29. Vitamin B_{12} Gehalt des Kolostrums und der Normalmilch (γ/100 ml)

Zeit nach der Geburt	Holstein		Jersey	
	Versuch Nr	Mittel	Versuch Nr	Mittel
< 6 Stden	13	4.9	13	2.1
24 〃	16	2.5	12	1.8
48 〃	14	2.4	13	1.7
72 〃	12	2.7	12	1.6
144 〃	14	2.5	14	1.4
8 Tage	12	2.2	13	1.0
15 〃	6	1.6	6	0.7
30 〃	10	1.0	9	0.7
45 〃	11	0.9	12	0.7
60 〃	10	0.59	14	0.56

Aus Tabelle 29 geht hervor, dass das Kolostrum der Holsteinrasse ungefähr 2 fach so viel Vitamin B_{12} als dasjenige der Jerseyrasse enthält und dass es nach 60 Tagen nach der Geburt keinen Unterschied mehr zwischen diesen beiden gibt.

Tabelle 30. Vitamin B_{12} Gehalt des Kolostrums und der Normalmilch (γ/100 ml)

Zeit nach der Geburt	Heslstein		Guernsey		Jersey	
	Tier	Mittel	Tier	Mittel	Tier	Mittel
0 Tag	7	1.12	3	1.95	2	0.62
1 〃	12	0.85	6	1.07	4	1.06
2 Tage	7	0.33	4	0.69	3	0.35
3 〃	11	0.35	5	0.60	4	0.40
1 Woche	9	0.46	3	0.48	6	0.41
2 Wochen	10	0.38	5	0.47	6	0.34
3 〃	9	0.27	4	0.58	6	0.28
4 〃	5	0.27	5	0.46	3	0.34
10 〃	12	0.44	5	0.52	6	0.28
20 〃	12	0.37	5	0.61	5	0.65

RUSOFF & HAQ[148] sowie HAQ *et al.*[155] berichteten, dass der Vitamin B_{12} Gehalt der Milch durch Fütterung von Vitamin B_{12} an Kühen nicht verändert wurde. HARTMAN & DRYDEN[156] fanden, dass der Vitamin B_{12} Gehalt der Milch durch Fütterung von Kobalt nicht verändert wurde. KOETSVELD[145] sagte, dass der Vitamin

B_{12} Gehalt der Milch während 1 Woche nach der Weidefütterung doppelt soviel als bei Stallfütterung zunahm und dass dies vielleicht darauf zurückzuführen sei, dass die Weidefütterung die Vitamin B_{12}-Synthese verbesserte. Dagegen berichteten HARTMAN *et al.*[149][150] sowie NURMIKKO & VIRTANEN[151][152], dass der Vitamin B_{12} Gehalt der Milch bei Stallfütterung und bei Weidefütterung beinahe gleich war. NURMIKKO & VIRTANEN[151][152] fanden auch, dass auf einem Gut, wo den Kühen während der Winterfütterung sehr reichlich AIV-Futter verabreicht wurde, der Vitamin B_{12} Gehalt der Milch beträchtlich höher war während der Winterfütterung als während der Weidefütterung und dass der Vitamin B_{12} Gehalt der Milch geringer war als der Mittelwert, wenn die Milchproduktion hoch war, aber der Gehalt zu überraschend hohen Werten anstieg, wenn die Milchproduktion gering war. Nach COLLINS *et al.*[142] sowie HARTMAN *et al.*[149][150] wurde der Vitamin B_{12} Gehalt der Milch durch Pasteurisierung nicht zerstört, und nach Ford[157] nahm der Gehalt von 0.42γ/100 ml zu 0.12γ/100 ml durch Sterilisierung von 20 Minuten bei 110°C und zu 0.08γ/100 ml durch Sterilisierung von 30 Minuten bei 120°C ab. CHAPMAN *et al.*[96] berichteten die folgenden Zahlen als die Prozentsätze der Zerstörung von Vitamin B_{12} durch verschiedene Bearbeitung und Verarbeitung der Milch(vgl. Tabelle 31).

Tabelle 31. Der Prozentsatz der Zerstörung von Vitamin B_{12} durch verschiedene Bearbeitung und Verarbeitung der Milch (%)

Hoch- u. Kurzzeiterhitzung (72°C; 15 Sek.)	Sterilisierung (111°C: 30 Min.)	Uperisation (135°C: 2 Sek.)	Evaporierte Milch	Kondensmilch	Walzenpulver	Zerstäubungspulver 150°C	Zerstäubungspulver 180°C
<10	90~100	15~20	90	40	20	35	35

(IX) Folinsäure

Tabelle 32. Folinsäuregehalt der Kuhmilch

Autoren	Folinsäure (γ/100 ml)	Anmerkungen
COLLINS *et al.*[142]	0.02~0.4	
COLLINS *et al.*[144]	0.01~0.6 0.90~5.00 1.40~3.80	Normalmilch Kolostrum, Holstein, 〃 , Guernsey
TEPLY *et al.*[20]	0.57	USA

Tabelle 33. Folinsäuregehalt des Kolostrums und der Normalmilch (γ/100 ml)

Zeit nach der Geburt	Holstein		Guernsey		Jersey	
	Tier	Mittel	Tier	Mittel	Tier	Mittel
0 Tag	5	2.12	3	3.00	—	—
1 〃	11	1.02	6	1.80	2	3.00
2 Tage	5	0.17	4	0.94	1	0.38
3 〃	7	0.17	5	0.24	—	—
1 Woche	8	0.18	6	0.10	2	0.03
2 Wochen	8	0.15	5	0.11	3	0.09
3 〃	7	0.18	4	0.15	2	0.04
4 〃	6	0.16	4	0.10	1	0.03
10 〃	10	0.28	5	0.23	6	0.15
20 〃	11	0.22	5	0.16	5	0.16

Die Berichte über den Folinsäuregehalt der Kuhmilch sind gering und in Tabelle 32 zusammengestellt.

Der Folinsäuregehalt des Kolostrums und der Normalmilch ist nach COLLINS *et al.*(144) in Tabelle 33 gezeigt.

Nach COLLINS *et al.*(142) wurde der Folinsäuregehalt der Milch durch Pasteurisierung nicht zerstört.

(X) Cholin

Auch die Berichte über den Cholingehalt der Kuhmilch sind gering und in Tabelle 34 zusammengestellt.

Tabelle 34. Cholingehalt der Kuhmilch

Autoren	Cholin (mg/100 ml)	Anmerkungen
VALDMAN(5)	51 6	Kolostrum, Lettland Normalmilch, 〃
TSIELENS(158)	48～72 6～15	Kolostrum Normalmilch
VALDMAN & REZEVSKAYA(159)	40 9	Sommermilch, Lettland Wintermilch, 〃

Der Cholingehalt des Kolostrums und der Normalmilch ist nach WAUGH *et al.*(160) in Tabelle 35 gezeigt.

Tabelle 35. Cholingehalt des Kolostrums und der Normalmilch (mg/100 ml)

Zeit nach der Geburt	Holstein			Jersey	Guernsey	Mittel
	1	2	3	1	1	
1. Melken	69	79	61	73	65	69
2. 〃	32	39	31	45	—	37
3. 〃	25	22	23	38	26	27
4. 〃	23	16	17	26	23	21
5. 〃	16	17	14	23	21	18
6. 〃	14	19	12	21	21	17
1 Woche	10	17	13	13	18	14
2 Wochen	11	15	13	11	18	14
4 〃	—	12	10	16	15	13

Aus Tabelle 35 ist ersichtlich, dass der Cholingehalt der Milch in den ersteren Teilen des Kolostrums hoch ist und schnell abnimmt, nach ca. 1 Woche nach der Geburt den normalen Wert erreichend.

(XI) Vitamin C (Ascorbinsäure)

Tabelle 36 gibt eine Zusammenstellung der Untersuchungen über den Vitamin C Gehalt der Kuhmilch.

Ich(174) berichtete, dass der Vitamin C Gehalt der Milch von den Rinderrassen und von der Individualität der Kühe abhängig und von Tag zu Tag verschieden war und dass der Vitamin C Gehalt der Milch von 2 F_1-Tieren von Jersey ♀ × Holstein ♂ im

Tabelle 36. Vitamin C Gehalt der Kuhmilch

Autoren	Vitamin C (mg/100 ml)	Anmerkungen
HOLMES *et al.*(88)	1.64	
STEWART & SHARP(161)	1.71	
VARMA *et al.*(162)	1.98∼2.56	Zeburind
HOLMES & JONES(163)	0.95	
THOMAS *et al*(164)	3.0 ∼3.8	
RANDOIN & PERROTEAU(165)	1.5 ∼2.8	
HOLMES(166)	0.38∼0.63	Handelsmilch, USA
ENGEL(167)	0.60	Pasteurisierte Milch
	0.25	Sterilisierte Milch
ANAGAMA(168)	2.64	Mittelwert der 885 Proben von Holstein-, Jersey-, Hybriden- u. Brown Swissmilch, Japan
BEREZOVSKAYA(169)	0∼1.94	
DAVIDOV & GULKO(170)	1.3 ∼1.6	Rohmilch, UdSSR
	0.6 ∼0.7	Handelsmlich, 〃
GODED y MUR(171)	1.1	Frühling, Handelsmilch, Spanien
	0.8	Sommer, 〃 , 〃
	0.75	Herbst, 〃 , 〃
	0.6	Winter, 〃 , 〃
VALENZUELA(11)	1.14	
ROEDER(93)	0.5 ∼2.8	
KUCHMI(172)	1.65	Frischmilch, UdSSR
	1.41	Handelsmilch, 〃
PANIC(173)	2.25	Morgenmilch, Simmemtaler
	2.30	Abendmilch, 〃

Durchschnitt 1.87 mg und 2.35 mg/100 ml war und der erstere dem Durchschnittswert der Holsteinmilch und der letztere dem der Jerseymilch fast gleich war.

Ich(175) fand, dass der Vitamin C Gehalt des Kolostrums sofort nach der Geburt der grösste war und später abnahm, an dem ersten bis vierten Tag nach der Geburt auf ein Minimum kommend und dann wieder zunehmend, und dass selbst bei derselben Kuh der Vitamin C Gehalt des Kolostrums und seine Veränderung in verschiedenen Laktationsperioden nicht gleich waren.

Nach VARMA *et al.*(162) war der Vitamin C Gehalt der Milch der geringste in dem ersten Monat der Laktation. Ich(174) fand, dass der Vitamin C Gehalt der Milch in dem ersten Monat der Laktation im Durchschnitt dem durchschnittlichen Gehalt in dem zweiten, dritten oder vierten Monat beinahe gleich war, aber dass er bedeutsam niedriger war als die durchschnittlichen Gehalte nach dem fünften Monat. Dagegen berichteten DAVIDOV & GULKO(95)(170), dass der Vitamin C Gehalt während 2∼3 Monate nach der Geburt sich verminderte und auch noch weiterhin abnahm, in dem 6ten bis 8ten Monat nach der Geburt auf ein Minimum kommend und dann wieder schwach zunehmend. Nach GODED y MUR(171) war der Vitamin C Gehalt in 100 ml Milch 1.12 mg in der ersten Laktationszeit, 1.36 mg in der Mitte und 2.79 mg im Ende. PANIC(173) sagte, dass der Vitamin C Gehalt der Milch mit der fortschreitenden Laktationszeit sich vermehrte.

Nach DAVIDOV & GULKO(95)(170) war der Vitamin C Gehalt der Wintermilch um

30～40% grösser als derjenige der Sommermilch und war der Gehalt in Juni, Juli und August der niedrigste, und nach PANIC[173] war der Vitamin C Gehalt der Milch grösser in November bis März als in Juni bis August. Ich[174] fand, dass der Vitamin C Gehalt der Milch in November im Durchschnitt dem durchschnittlichen Gehalt in Oktober, Dezember oder Januar beinahe gleich war, aber dass er bedeutsam höher war als die durchschnittlichen Gehalte anderer Kalendermonate.

Wie die früheren Autoren fanden, fand auch ich[174], dass der Vitamin C Gehalt der Milch durch Fütterung nicht wesentlich beeinflusst wurde. CHANDA *et al.*[176] berichteten, dass die Einspritzung von Thyroxin an Kühe den Vitamin C Gehalt der Milch verringerte und die von Thiouracil den Gehalt vermehrte.

Ich[174] berichtete, dass die durch verschiedene Pasteurisierungen zerstörte Menge von Vitamin C der Milch bei Holsteinmilch und Guernseymilch fast gleich war und pro 100 ml durchschnittlich 0.17 mg bei der aufgekochten Milch, 0.52 mg bei der dauerpasteurisierten Milch, 0.56 mg bei der aufgekochten und 30 Minuten lang stehen gelassenen Milch und 1.12 mg bei der hochpasteurisierten Milch betrug. (Hochpasteurisierung bedeutet hier nicht sog. "HTST-Pasteurisierung" oder Hoch- u. Kurzzeitpasteurisierung, sondern die Erhitzung von 30 Minuten bei 95°C.) Der Prozentsatz der Zerstörung von Vitamin C durch diese Pasteurisierungen betrug etwa 10% (bei Holsteinmilch) oder 7% (bei Guernseymilch) bei der aufgekochten Milch, etwa 30% (bei Holsteinmilch) oder 20% (bei Guernseymilch) bei der dauerpasteurisierten Milch, etwa 34% (bei Holsteinmilch) oder 23% (bei Guernseymilch) bei der aufgekochten und 30 Minuten lang stehen gelassenen Milch und etwa 68% (bei Holsteinmilch) oder 47% (bei Guernseymilch) bei der hochpasteurisierten Milch. Nach DAVIDOV & GULKO[95] wurde das Vitamin C in der Milch um etwa 20% durch Dauerpasteurisierung und um etwa 11% durch Kurzzeiterhitzung zerstört, und nach GODED y MUR[171] wurde das Vitamin C in der Milch um 30% durch Dauerpasteurisierung in Glasgefäss, um 32% in Aluminiumgefäss, 90% in Kupfergefäss und 19% durch Hoch- u. Kurzzeiterhitzung zerstört. DEKKER & ENGEL[86] fanden, dass das Vitamin C in der Milch durch Sterilisierung um etwa 100% zerstört wurde.

TSUGÔ & UEHARA[98] berichteten, dass das Vitamin C in der Milch durch Milchsäuregärung nicht beeinflusst wurde.

Nach DIEMAIR *et al.*[115] wurde das Vitamin C in der Milch durch Ultraviolettbestrahlung, die für die Anreicherung des Vitamins D erforderlich war, um etwa 20% zerstört. Nach JOSEPHSON *et al.*[118], HERREID *et al.*[119], MATTSSON *et al.*[177] u. a. wurde das Vitamin C in der Milch durch Sonnenlichtbestrahlung zerstört. Ich[174] fand, dass die zerstörende Wirkung des Sonnenlichtes auf das Vitamin C in der Milch sowohl bei direktem Strahl als auch bei diffusem Tageslicht sehr stark war und zwar dass sie bei jenem etwa 1.7 fach stärker als bei diesem war. SMITH & MACLEOD[178][179] untersuchten den Einfluss des künstlichen Strahls auf den Vitamin C Gehalt der Milch.

(XII) Vitamin D

Die Berichte über den Vitamin D Gehalt der Kuhmilch sind noch gering und in der

Tabelle 37 zusammengestellt.

Tabele 37. Vitamin D Gehalt der Kuhmilch

Autoren	Vitamin D (I.E./100 ml)	Anmerkungen
VALDMAN[5]	20	Kolostrum
	3	Normalmilch
WAGNER[180]	2~4	Mai bis September
	0	Oktober bis April
BRÜGGEMANN & KARG[181]	2.0~3.6	Sommermilch
	0~1.6	Wintermilch
	4.8~11.2	Alpenmilch

Nach BRÜGGEMANN & KARG[181] war der Vitamin D Gehalt der Alpenmilch erheblich erhöht, und die Ursachen dafür wurden vor allem in der besonders starken Einwirkung ultravioletter Sonnenstrahlen im Gebirge auf Pflanzen und Tiere sowie im Nachlassen des Gesamtmilchertrages während der Älpung gesehen.

Nach EATON *et al.*[182] war der Vitamin D Gehalt des Kolostrums 0.89 ± 0.12 I.E./g Fett in April/Mai und 1.81 ± 0.62 I.E./g Fett in September/Oktober, und wenn 100,000 I.E. Vitamin D pro Tag während 8 Wochen vor Abkalben der Kuh gefüttert wurde, stieg der Vitamin D Gehalt zu 2.78 ± 0.57 I.E./g Fett in April/Mai und zu 5.44 ± 1.30 I.E./g Fett in September/Oktober.

(XIII) Vitamin E (Tocopherol)

Tabelle 38 gibt eine Zusammenstellung der Untersuchungen über den Vitamin E Gehalt der Kuhmilch.

Tabelle 38. Vitamin E Gehalt der Kuhmilch

Autoren	Vitamin E (γ/100 ml)	Anmerkungen
ABDERHALDEN[183]	20~106 (61)	
NEUWEILER[184]	58~152	
WAGNER[185]	76	Juli
	58	Juni
	25	Februar/März
KIEFERLE *et al.*[186]	77~112 (96)	Sommermilch
	60~105 (87)	Wintermilch
ROEDER[93]	60	
BECKMANN[187]	Spur~1320 (421)	Sommer
	260~525	Markenmilch, August
SWINGLE *et al.*[188]	18~4537	Kolostrum
	16~501	Normalmilch
KRUISHEER[189]	105	Weidefütterung, Holland
	67	Stallfütterung, 〃
	88	Mittel
ERMAKOWA[190]	87~103	

Tabelle 39 gibt eine Zusammenstellung der Untersuchungen über den Vitamin E Gehalt pro 1 g Milchfett.

Tabelle 39. Vitamin E Gehalt pro 1g Milchfett

Autoren	Vitamin E (γ)	Anmerkungen
HARRIS *et al.*[191]	42 23	Sommer Winter
PARRISH *et al.*[192]	8～27	
KRUKOVSKY *et al.*[31]	22.2 25.5 26.2 30.3	Holstein Brown Swiss Jersey Guernsey
BIRD *et al.*[193]	10～45	
KIEFERLE *et al.*[186]	24 25	Sommer Winter
ANGLIN *et al.*[194]	10～50(31)	

KRUKOVSKY *et al.*[31] berichteten, dass der Vitamin E Gehalt durch Individualität und Jahreszeit beeinflusst wurde, dass es eine hohe Korrelation zwischen dem Tocopherolgehalt und dem Carotingehalt der Milch gab und dass es eine Beziehung zwischen dem Tocopherolgehalt und dem Hervorkommen des Oxydationsgeschmacks der Milch gab und die Milch, die unter 25 γ Tocopherol pro 1 g Fett enthielt, leicht den Oxydationsgeschmack zeigte.

KIEFERLE *et al.*[186] fanden, dass das Auftreten von Vitamin E in der Milch mehr von innersekretorischen Veränderungen der Milchdrüse im Ablauf einer Laktationsperiode beeinflusst wurde, als von Einflüssen des Alters und der Rasse der Kühe, der Jahreszeit, des Futters, usw., dass zur Zeit der Brunst der Vitamin E Gehalt bis auf 100～150γ% anwachsen konnte, dass der Gehalt in dem Kolostrum sofort nach der Geburt sehr erhöht (300～400γ%) war, aber nach 2 Tagen nach der Geburt schnell abnahm und sich auch noch weiterhin allmählich verringerte, dass die Milch einzelner Tiere innerhalb der gleichen Melkzeit von Euterviertel zu Euterviertel beträchtliche Unterschiede im Tocopherolgehalt aufwies und dass der Tocopherolgehalt der Teilgemelke einer Milch ebenso wie der Fettgehalt mit der Zahl der Teilgemelke beträchtlich zunahm, keinesfalls aber im Verhältnis zur Zunahme des Fettgehaltes.

Nach PARRISH *et al.*[192] wurde der Tocopherolgehalt des Kolostrums durch Fütterung von Tocopherol an die Kühe vor dem Abkalben beeinflusst (vgl. Tabelle 40).

Tabelle 40. Der Einfluss der Ernährung während der Schwangerschaft auf den Tocopherolgehalt des Kolostrums und der Normalmilch (γ/g Fett)

Ration	Tag nach dem Abkalben						
	1	2	3	4	5, 6	7, 8	15, 16
Kein Tocopherol gefüttert	107	92	69	52	35	25	16
0.5～1g Tocopherol pro Kopf u. Tag gefüttert	150	131	112	76	49	30	17
10g Tocopherol pro Kopf u. Tag gefüttert	489	485	376	252	182	98	39

Nach ANGLIN *et al.*[194] variierte der Vitamin E Gehalt des Milchfettes von Monat

zu Monat, nämlich: Januar 21γ/g Fett, Februar/März 19, April 21, Mai 26, Juni 34, Juli 40, August bis Oktober 42, November 31, Dezember 27. Es ist aus diesen Zahlen ersichtlich, dass der Gehalt in den Monaten von Juni bis November viel und in den Monaten von Januar bis April wenig ist, und Mai und Dezember die Übergangszeiten sind.

KRUKOVSKY & LOOSLI[195], NIELSEN *et al.*[196] sowie KRUKOVSKY *et al.*[197] berichteten, dass der Vitamin E Gehalt der Milch durch Fütterung beeinflusst wurde.

KRUKOVSKY *et al.*[198] fanden, dass das Vitamin E in der Milch durch Ultraviolettbestrahlung schwach zerstört wurde.

Zusammenfassend kann man für den Gehalt an verschiedenen Vitaminen der Kuhmilch folgende Werte angeben (vgl. DAVIS[199], FRANDSEN[200] und BRUNCKE[201]): (Gehalt in 100 ml)

A	100 I.E.	Folinsäure	0.2 γ
B_1	45 γ	Biotin	3 γ
B_2	150 γ	Cholin	13 mg
B_6	50 γ	C	2 mg
B_{12}	0.5 γ	D	3 I.E.
Nikotinsäure	100 γ	E	75 γ
Pantothensäure	300 γ		

Ich danke herzlich Herrn H. HECKER für seine sehr freundliche und sorgfältige Berichtigung des Manuskriptes.

LITERATURVERZEICHNIS

(1) HOLM. 1945. U.S.D.A. BDIM. Inf. 25.
(2) ROGICK & ROGICK. 1946. Bol. Industr. anim. **8**:3.
(3) LUECK *et al.* 1947. Arch. Biochem. **13** (2): 277.
(4) STEFANIAK *et al.* 1947. J. Dairy Sci. **30**: 103.
(5) VALDMAN. 1952. Sotsial. Zhivotn. **14** (12): 8.
(6) DEKKER & ENGEL. 1952. Neth. Milk Dairy J. **6**: 104.
(7) KRUISHEER & den HERDER. 1953. Proc. 13th Int. Dairy Congr. **3**: 1354.
(8) ÔHARA & YOSHIDA. 1954. Res. Bul. Obihiro Zootech. Univ. **1** (4): 9 (Japan. mit engl. Zusammenfassung).
(9) VALLE. 1954. Escuela farm. (Guatemala). **15** (196-8): 12.
(10) VASA. 1954. Vyziva Lidu. **9**: 137.
(11) VALENZUELA. 1954. Anales fac. farm. y bioquim., Univ. nacl. mayor San Marcos (Lima, Peru), **5**: 267.
(12) DAVIDOV & ERMAKOVA. 1954. Mol. Prom. **15** (6): 32.
(13) NAKANISHI. 1955. Milch und ihre Bearbeitung sowie Untersuchung (Japan.). S. 58. Tokio: Yôkendô.
(14) SAMPATH *et al.* 1955. Indian J. Dairy Sci. **8**: 129.
(15) ADAM & GUTHEIL. 1955. Milchwissenschaft. **10**: 190.
(16) MACKROTT. 1955. Kieler Milchwirtsch. Forsch-Berichte. **7**: 51.
(17) GAZO & LANDAU. 1956. Vet. casopis. **5**: 267.
(18) FRAGNER *et al.* 1956. Proc. 14th Int. Dairy Congr. **1** (2): 89.

(19) SERGEEV. 1957. Vop. Pitan. **16** (4): 77.
(20) TEPLY *et al.* 1958. J. Dairy Sci. **41**: 593.
(21) LORD. 1945. Biochem. J. **39**: 372.
(22) DEARDEN *et al.* 1945. J. Dairy Res. **14**: 100.
(23) BARNICOAT. 1947. J. Dairy Res. **15**: 80.
(24) THOMPSON *et al.* 1949. Proc. 12th Int. Dairy Congr. **2**: 238.
(25) MCDOWELL & MCDOWALL. 1953, J. Dairy Res. **20**: 76.
(26) WHITE *et al.* 1954. J. Dairy Sci. **37**: 147.
(27) MUCCIOLO *et al.* 1955. Rev. Fac. Med. Vet., S. Paulo. **5** (3): 551.
(28) HAUBOLD & KOLB. 1955. Milchwissenschaft. **10**: 340 & 375.
(29) NARAYANAN *et al.* 1956. Indian J. Dairy Sci. **9**: 44.
(30) REINART & NESBITT. 1956. Proc. 14th Int. Dairy Congr. **1** (2): 934.
(31) KRUKOVSKY *et al.* 1950. J. Dairy Sci. **33**: 791.
(32) BRENCE & NELSON. 1951. J. Dairy Sci. **34**: 960.
(33) WORKER & MCGILLIVRAY. 1957. J. Dairy Res. **24**: 85.
(34) SASAKI *et al.* 1955. J. Agr. Chem. Soc. Japan. **29**: 234 (Japan. mit engl. Zusammenfassung).
(35) HIBBS *et al.* 1949. J. Dairy Sci. **32**: 955.
(36) SEN & RAY SARKAR. 1942. Indian J. vet. Sci. **12**: 179.
(37) —— & ——————. 1943. Indian J. vet. Sci. **13**: 219.
(38) HJARDE & LARSEN. 1956. Proc. 14th Int. Dairy Congr. **2** (1): 552.
(39) HAUGE *et al.* 1944. J. Dairy Sci. **27**: 63.
(40) WISEMAN *et al.* 1949. Proc. 12th Int. Dairy Congr. **1**: 61.
(41) MCGILLIVRAY. 1956. N.Z. J. Sci. Tech. **38A**: 466.
(42) MCDOWELL. 1956. J. Dairy Res. **23**: 111.
(43) MCGILLIVRAY. 1957. J. Dairy Res. **24**: 95.
(44) THOMPSON & MCGILLIVRAY. 1957. J. Dairy Res. **24**: 108.
(45) MCGILLIVRAY & WORKER. 1957. J. Dairy Res. **24**: 346.
(46) STALLCUP & HERMAN. 1950. Mo. Agr. Expt. Sta. Bull. Nr. 457.
(47) MCGILLIVRAY *et al.* 1958. J. Dairy Res. **25**: 439.
(48) MOORE. 1930. Biochem. J. **25**: 275.
(49) OLKOTT & MCCANN. 1930. Biochem. J. **24**: 692.
(50) PARIENTE & RALLI. 1931. Proc. Soc. exptl. Biol. Med. **29**: 1209.
(51) MATTSON *et al.* 1947. Arch. Biochem. **15**: 65.
(52) AMBER *et al.* 1950. J. Nutr. **41**: 619.
(53) BRÜGGEMANN & NIESAR. 1955. Milchwissenschaft. **10**: 223.
(54) van ARSDELL *et al.* 1950. J. Animal Sci. **9**: 545.
(55) CHURCH *et al.* 1954. J. Animal Sci. **13**: 677.
(56) KON *et al.* 1955. Brit. J. Nutr. **9**: 244.
(57) EATON *et al.* 1951. J. Dairy Sci. **34**: 1073.
(58) WARNER & MAYNARD. 1952. J. Animal Sci. **11**: 780.
(59) SCHUH *et al.* 1959. J. Dairy Sci. **42**: 159.
(60) PARRISH *et al.* 1947. J. Biol. Chem. **167**: 673.
(61) CHANDA & OWEN. 1952. Biochem. J. **51**: 404.
(62) CHANDA. 1953. Biochem. J. **54**: 68.
(63) HOCH & HOCH. 1946. Brit. J. Expt. Path. **27**: 316.
(64) GLOVER *et al.* 1947. Biochem. J. **41**: 97.
(65) KON & HENRY. 1949. J. Dairy Res. **16**:68.
(66) CHANDA *et al.* 1954. Biochem. J. **56**: 453.
(67) ——————. 1955. Biochem. J. **60**: 391.
(68) MCGILLIVRAY. 1957. J. Dairy Res. **24**: 102.
(69) OLSSON *et al.* 1955. Acta agric. scand. **5**: 113.
(70) LEROY *et al.* 1952. Oléagineux. **7**: 1.
(71) KIEFERLE *et al.* 1949. Proc. 12th Int. Dairy Congr. **1**: 69.
(72) KOEHN. 1943. J. Dairy Sci. **26**: 673.

(73) HANSEN *et al.* 1954. J. Dairy Sci. **37**: 311.
(74) BLAXTER *et al.* 1946. J. Dairy Res. **14**: 225.
(75) KALYANAKRISHNAN *et al.* 1951. Indian J. Dairy Sci. **4**: 45.
(76) WISE *et al.* 1947. J. Dairy Sci. **30**: 279.
(77) HENRY *et al.* 1940. J. Dairy Res. **11**: 1.
(78) SUTTON *et al.* 1947. J. Dairy Sci. **30**: 927.
(79) PARRISH *et al.* 1949. J. Dairy Sci. **32**: 209.
(80) SPIELMAN *et al.* 1947. J. Dairy Sci. **30**: 343.
(81) WALKER *et al.* 1949. Proc. 12th Int. Dairy Congr. **1**: 83.
(82) SINGH & MOHAMMED. 1945. Indian J. vet. Sci. **15**: 57.
(83) WINZENRIED & WANNTORP. 1948. Int. Z. Vitaminforsch. **20**: 134.
(84) RAY SARKAR. 1948. J. Dairy Sci. **31**: 165.
(85) CHANDA. 1953. J. agr. Sci. **43**: 54.
(86) DEKKER & ENGEL. 1952. Voeding. **13**: 152.
(87) BOISSELOT & CAUSERET. 1950. Lait. **30**: 34.
(88) HOLMES *et al.* 1945. J. Dairy Sci. **28**: 29.
(89) MCDOWALL *et al.* 1947. N.Z. J. Sci. Tech. **28A**: 316.
(90) MARSH *et al.* 1947. J. Dairy Sci. **30**: 867.
(91) DAVIDOV & GULKO. 1950. Mol. Prom. **11** (6): 19.
(92) VENKATESWARA & BASU. 1951. Indian J. Dairy Sci. **4**: 21.
(93) ROEDER. 1954. Grundzüge der Milchwirtschaft und des Molkereiwesens. S. 217. Hamburg: Paul Parey.
(94) KNAUT. 1955. Roczn. Nauk rol. **70**: B. 197.
(95) DAVIDOV & GULKO. 1956. Izvest. Timiryazev. Sel' skokhoz. Akad. Nr. 2, 179.
(96) CHAPMAN *et al.* 1957. J. Dairy Res. **24**: 191.
(97) WAGNER. 1952. Milchwissenschaft. **7**: 250.
(98) TSUGÔ & UEHARA. 1949. Jap. J. zootech. Sci. **20**: 39 (Japan. mit engl. Zusammenfassung).
(99) FUHR *et al.* 1943. J. Dairy Sci. **26**: 643.
(100) THEOPHILUS & STAMBERG. 1945. J. Dairy Sci. **28**: 259.
(101) PEARSON & DARNELL. 1946. J. Nutr. **31**: 51.
(102) LUECKE *et al.* 1947. Arch. Biochem. **13**: 277.
(103) YOUNG *et al.* 1950. Proc. w. Div. Amer. Dairy Sci. Ass. P. 81.
(104) MONZINI & ARTOM. 1951. Ann. Sper. agr. **5**: 805.
(105) ANTONIANI. 1951. Mondo d. latte. 334.
(106) CLEMOW. 1951. N. Z. J. Sci. Tech. **32A**: 14.
(107) FRENCH *et al.* 1951. Fla. Agr. Expt. Sta. Bull. 482.
(108) HOFF-JÖRGENSEN *et al.* 1952. Acta agric. scand. **2**: 305.
(109) HELLSTRÖM & ÅKERBERG. 1954. Var föda. **6**: 5.
(110) GREGORY *et al.* 1955. J. Dairy Res. **22**: 108.
(111) FUNAI. 1955. Tokushima J. exp. Med. **2**: 201.
(112) FORD *et al.* 1956. Proc. 14th Int. Dairy Congr. **1** (2): 760.
(113) HERRERA & ALBACETE. 1957. Rev. Patron. Biol. Anim., Madrid. **3** (4): 303.
(114) GREGORY *et al.* 1958. J. Dairy Res. **25**: 447.
(115) DIEMAIR *et al.* 1954. Z. anal. Chem. **143**: 354.
(116) STAMBERG & THEOPHILUS. 1945. J. Dairy Sci. **28**: 269.
(117) SHETLAR *et al.* 1945. J. Dairy Sci. **28**: 873.
(118) JOSEPHSON *et al.* 1946. J. Dairy Sci. **29**: 273.
(119) HERREID *et al.* 1952. J. Dairy Sci. **35**: 772.
(120) KON & THOMPSON. 1953. Proc. 13th Int. Dairy Congr. **2**: 363.
(121) HODSON. 1945. J. Nutr. **29**: 137.
(122) STEFANIAK & PETERSON. 1946. J. Dairy Sci. **29**: 783.
(123) LAWRENCE *et al.* 1946. J. Nutr. **32**: 73.
(124) RITTER. 1948. Schweiz. Milchztg. **74**: Nr. 11.
(125) FORD *et al.* 1953. Proc. 13th Int. Dairy Congr. **3**: 1282.

(126) HOEFLAKE. 1953. Neth. Milk Dairy J. **7**: 227.
(127) KODICEK & PEPPER. 1948. J. gen. Microbiol. **2**: 306.
(128) DAVIDOV & GULKO. 1951. Mol. Prom. **12**: (4): 39.
(129) HAUDINIÈRE. 1950. Lait. **30**: 37.
(130) CATELLANI. 1955. Acta Med. vet. **1**: 433.
(131) RABINOWITZ *et al.* 1948. J. Biol. Chem. **175**: 147.
(132) FUKUI *et al.* 1953. Vitamins. **6**: 436 (Japan.).
(133) HASSINEN *et al.* 1954. J. Nutr. **53**: 249.
(134) MÜLLER *et al.* 1959. Milchwissenschaft. **14**: 115.
(135) RABINOWITZ & SNELL. 1948. J. Biol. Chem. **176**: 1157.
(136) KREHL. 1957. Borden's Rev. Nutr. Res. **18** (5): 69.
(137) DEBRIT. 1952. Int. Z. Vitaminforsch. **24**: 331.
(138) HELLSTRÖM. 1954. Var föda. **6**: 36.
(139) SREENIVASAMURTHY *et al.* 1950. Indian J. Dairy Sci. **3**: 179.
(140) ANTHONY *et al.* 1951. J. Dairy Sci. **34**: 749.
(141) UEDA *et al.* 1951. Vitamins. **4**: 191 (Japan.).
(142) COLLINS *et al.* 1951. J. Nutr. **43**: 313.
(143) SREENIVASAMURTHY *et al.* 1953. Indian J. Dairy Sci. **6**: 105.
(144) COLLINS *et al.* 1953. J. Dairy Sci. **36**: 24.
(145) KOETSVELD. 1953. Nature, Lond. **171**: 483.
(146) SATÔ. 1953. Vitamins. **6**: 212 (Japan.).
(147) KARLIN. 1954. C.R. Soc. Biol. **148**: 371 & 1419.
(148) RUSOFF & HAQ. 1954. J. Dairy Sci. **37**: 677.
(149) HARTMAN *et al.* 1956. J. Nutr. **59**: 77.
(150) ——————. 1956. Proc. 14th Int. Dairy Congr. **1** (2): 103.
(151) NURMIKKO & VIRTANEN. 1956. Proc. 14th Int. Dairy Congr. **1** (2): 873.
(152) ———— & ————. 1956. Milchwissenschaft. **11**: 192.
(153) SELIVANOV. 1957. Vop. Pitan. **16**: 78.
(154) DAVIDOV & KRUGLOVA. 1958. Mol. Prom. **19** (7): 42.
(155) HAQ *et al.* 1952. Science. **115**: 215.
(156) HARTMAN & DRYDEN. 1952. Arch. Biochem. Biophys. **40**: 310.
(157) FORD. 1957. J. Dairy Res. **24**: 360.
(158) TSIELENS. 1954. Vitaminnye Resursy i ikh Ispolzovanie, Akad. Nauk SSSR. **2**: 136.
(159) VALDMAN & REZEVSKAYA. 1955. Sborn. Dokl. vses. Sovesch. Moloch. Delu 1955. S. 275.
(160) WAUGH *et al.* 1947. J. Dairy Sci. **30**: 457.
(161) STEWART & SHARP. 1946. J. Nutr. **31**: 161.
(162) VARMA *et al.* 1947. Indian J. vet. Sci. **17**: 185.
(163) HOLMES & JONES. 1948. J. Dairy Sci. **31**: 99.
(164) THOMAS *et al.* 1948. Proc. w. Div. Amer. Dairy Sci. Ass. S. 62.
(165) RANDOIN & PERROTEAU. 1950. Lait. **30**: 291.
(166) HOLMES. 1951. J. Amer. Dietetic. Ass. **27**: 578.
(167) ENGEL. 1952. Molkerei- u. Käsereiztg. **3**: 773.
(168) ANAGAMA. 1953. Jap. J. zootech. Sci. **24**: 71 (Japan. mit engl. Zusammenfassung).
(169) BEREZOVSKAYA. 1953. Vop. pitan. **12** (6): 55.
(170) DAVIDOV & GULKO. 1953. Usp. Sovrem. Biol. **35**: 457.
(171) GODED y MUR. 1953. An. Bromatol., Madrid. **5**: 227.
(172) KUCHMI. 1955. Vop. Pitan. **14** (3): 45.
(173) PANIC. 1956. Zborn. Rad. poljopriv. Fak. Univ. Beograd. **4** (2): 148.
(174) ANAGAMA. 1955. J. Fac. Fish. Anim. Husb. Hiroshima Univ. **1**: 49.
(175) ————. 1951. Jap. J. zootech. Sci **22**: 5 (Japan. mit engl. Zusammenfassung).
(176) CHANDA *et al.* 1952. Biochem. J. **51**: 543.
(177) MATTSSON. 1954. Svenska Mejeritidn. **46**: 501.
(178) SMITH & MACLEOD. 1955. J. Dairy Sci. **38**: 870.
(179) —— & ————. 1957. J. Dairy sci. **40**: 862.

(180) WAGNER. 1952. Milchwissenschaft. **7**: 396.
(181) BRÜGGEMANN & KARG. 1954 Milchwissenschaft. **9**: 52.
(182) EATON *et al.* 1947. J. Dairy Sci. **30**: 787.
(183) ABDERHALDEN. 1947. Biochem. Z. **318**: 47.
(184) NEUWEILER. 1948. Int. Z. Vitaminforsch. **20**: 108.
(185) WAGNER. 1952. Ärztl. Wschr. **7**: 248.
(186) KIEFERLE *et al.* 1953. Milchwissenschaft. **8**: 57.
(187) BECKMANN. 1954. Milchwissenschaft. **9**: 365.
(188) SWINGLE *et al.* 1956. Amer. J. vet. Res. **17**: 28.
(189) KRUISHEER. 1956. Proc. 14th Int. Dairy Congr. **2** (1): 202.
(190) ERMAKOWA. 1958. Dokl. vses. Konf. Moloch. Delu 1958. S. 109.
(191) HARRIS *et al.* 1947. J. Nutr. **33**: 411.
(192) PARRISH *et al.* 1947. J. Dairy Sci. **30**: 849.
(193) BIRD *et al.* 1951. J. Dairy Sci. **34**: 484.
(194) ANGLIN *et al.* 1955. J. Dairy Sci. **38**: 333.
(195) KRUKOVSKY & LOOSLI. 1952. J. Dairy Sci, **35**: 834.
(196) NIELSEN *et al.* 1953. J. Dairy Res. **20**: 333.
(197) KRUKOVSKY *et al.* 1954. J. Dairy Sci. **37**: 1.
(198) —————— . 1948. J. Dairy Sci. **31**: 961.
(199) DAVIS. 1955. A Dictionary of Dairying. S. 759. New York: Interscience Pub.
(200) FRANDSEN. 1958. Dairy Handbook and Dictionary. S. 285. Amherst: Frandsen.
(201) BRUNCKE. 1958. Milchwirtschaft und Dauermilchindustrie. S. 148. Leipzig: Fachbuchverlag.

Changes in the Stainability of Muscle with Azan in the Course of Putrefaction

Shunsaku FUJII

Department of Animal Husbandry, Faculty of Fisheries and Animal Husbandry, Hiroshima University, Fukuyama

(Text-figs. 1-2)

It is very important, from the viewpoint of food sanitation, to investigate various changes in the course of putrefaction of meat. Numerous studies have been made on the postmortem changes of muscle chemically, bacteriologically, and morphologically. In the field of morphological observations, ITIKAWA (1949) studied horse meat with regard to macroscopical changes in color, luster, humidity, odor, hardness, and taste and microscopical changes in cross striations, myofibrils, nuclei, and cytoplasm of muscle cells during a period from immediately after death to the onset of putrefaction. Little has been reported, however, on changes of the stainability of muscle in the course of putrefaction. KIZUKA *et al.* (1955) studied histochemically postmortem changes in meat by means of alizarin S and Schiff's reaction and reported that the stainability of muscle fibers was profoundly affected by the change of the pH value of muscle after death.

The present investigation was performed, upon the theory on "the ultrastructural density of tissue" elaborated by MÖLLENDORFF (1924) and SEKI (1936, 1954), to observe changes of the color of muscle stained by the azan method which employs three acid dyes with different dispersity and color. On the other hand, the degree of putrefaction of the same specimen used for histological examination was estimated chemically by measuring the amount of volatile basic nitrogen (VBN) by Conway's method and compared with the change of stainability. As a few reports have been made by SEKI and his collaborators in this field, this paper deals with some new findings since then.

(I) MATERIALS AND METHODS

The materials used were the dorsal muscle of a globefish, *Sphcroides rubripes,* and the femoral muscle of a dog. The chemical composition was a little different between these muscles. The materials were cut into small blocks about 2 × 1 × 0.5 cm in size and placed in a Petri dish, which was floated in a larger dish filled with water to prevent the muscle blocks from drying. Room temperature was about 28 °C in this experiment, so that putrefaction was accelerated remarkably in muscle. In the case of fish muscle, a specimen was harvested just after death (for control) and 7, 30, 50, and 80 hours after death, respectively. It was cut into two equal parts, of which one was fixed

in 10% formalin solution for histological examination and the other used for chemical study. In the case of dog muscle, specimens were collected immediately after death (for control) and 10, 35, 55, 85, and 100 hours after death and dealt with in the same manner as described for fish muscle.

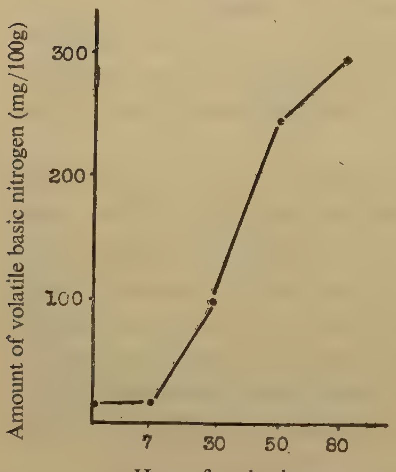
The fixed blocks were embedded in paraffin and sectioned 10μ thick. Sections from each block were mounted on a single slide. Heidenhain's azan staining method was employed to observe changes in the stainability of muscle, and Heidenhain's iron-hematoxylin and regular hematoxylin and eosin were used for the observation of the cell structure in general.

Sections to be compared were cut in as equal thickness as possible, mounted on the same slide, and stained at the same time, so that experiments might be conducted under the same condition.

The other half of same block was used to determine the amount of VBN by Conway's method for chemical estimation of the degree of putrefaction of the muscle.

(II) RESULTS

1. Observation on fish muscle



Text-fig. 1. Changes in the amount of volatile basic nitrogen in fish muscle after death.

In the control specimen harvested just after death, cross striations and myofibrils of muscle fibers were more or less clearly detectable histologically. Stained with azan, muscle fibers appeared in a red tint and interstitial connective-tissue fibers in a blue tint. Text-fig. 1 shows changes in the amount of VBN in fish muscle. The VBN level was 14.2mg/100g (hereinafter, simply mg) in the control muscle.

In the specimen harvested 7 hours after death (7-hour specimen for short), muscle increased in hardness and seemed to be in the stage of rigor mortis. Histologically, cross striations and myofibrils were more distinct than those of the control. No other morphological changes were seen in this stage. The color of muscle stained with azan was more yellowish in tint than that of the control. VBN was not increased in amount, remaining 14.5 mg. It should be noted that, although some change occurred in the staining color of muscle, there was no change in its VBN amount.

In the 30-hour specimen, muscle became soft again owing to the lysis of rigor mortis and was juicy with a slightly putrid odor. No histological changes were noticed, except a partial colliquation and disappearance of connective tissue fibers. Nevertheless, muscle fibers in this stage were stained purplish-red with a distinct increase of a purple tone. The level of VBN was elevated extremely, reaching 92.9 mg. It is of interest that a

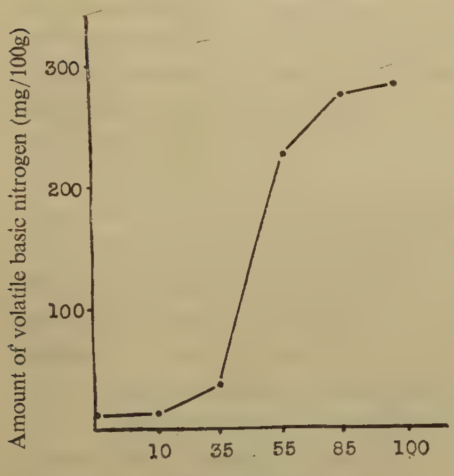
remarkable change in staining color occurred in accordance with the elevation of VBN level.

In the 50-hour specimen, muscle emanated a putrid odor and was softened with remarkable colliquation. Histologically, cross striations and myofibrils were hardly visible and degenerative changes, such as pyknosis and disappearance of nuclei, were shown, so that the muscle tissue became homogeneous. Muscle fibers became colliquative in highly putrefied portions of the specimen, which were stained reddish-purple diffusely or purple entirely with azan. The amount of VBN was increased to 235.7 mg.

In the 80-hour specimen, muscle was collapsed and colliquated to lose its original form. Histologically, the sarcolemma melted and myofibrils liquefied entirely. The muscle in this period was stained purplish-blue to blue. The amount of VBN was 298.4 mg.

In short, the color of fish muscle stained with azan was red immediately after death and changed to orange at the stage of rigor mortis, purplish-red 30 hours after, purple 50 hours after, and at last purplish-blue or blue 80 hours after death.

2. Observation on dog muscle



Text-fig. 2. Changes in the amount of volatile basic nitrogen in dog muscle after death.

In the control muscle, cross striations and myofibrils were observed distinctly. When stained with azan, it was red with a little more yellowish tint than fish muscle at the same period. Text-fig. 2 shows changes in the VBN amount of dog muscle. The VBN level of the control specimen was 10.0 mg.

In the 10-hour specimen, muscle became rigid owing to the effect of rigor mortis. Cross striations and myofibrils were seen more clearly in it than in the control specimen. The color of muscle stained with azan was red with a more yellowish tint than in the control. The VBN level was maintained at 11.4 mg.

In the 35-hour specimen, muscle became soft owing to the lysis of rigor mortis. Histologically, connective-tissue fibers gradually decreased in amount and muscle fibers were more or less distinct in appearance, although cross striations and myofibrils were invisible. Stained with azan, the muscle fibers were purplish-red with a decreased purple tone, compared with those of fish muscle at the same period of harvesting. The amount of VBN was 34.4 mg, about three times as large as that of the control muscle.

In the 55-hour specimen, muscle produced a bad odor and became soft and juicy. Interstitial connective-tissue fibers showed a partial fusion or disappeared. Moreover, fusion of muscle fibers occurred and muscle tissue appeared homogeneous. The amount of VBN increased rapidly to 231.1 mg. The muscle in this period was stained reddish-

purple with azan.

In the 85-hour specimen, muscle putrefied entirely. Histologically, the fusion of sarcolemma and liquefaction of myofibrils were so marked that the muscle tissue appeared uniform as a whole. When stained with azan, the muscle tissue was reddish-purple or purple. The VBN level reached 273.1 mg.

In the 100-hour specimen, muscle became muddy. The muscle tissue liquefied entirely and stained purple or bluish-purple diffusely. The amount of VBN was 280.0 mg.

In short, the color of dog muscle stained with azan was red just after death, yellowish-red 10 hours after, purplish-red 35 hours after, reddish-purple 55 hours after, purple 85 hours after, and purple or bluish-purple 100 hours after death.

Changes in the color of muscle stained with azan in the progress of putrefaction showed a similar tendency in dog muscle as in fish muscle. When observed in detail, however, the changes were not so rapid and distinct in dog muscle as in fish muscle.

(III) DISCUSSION

Changes in the stainability of muscle with azan in the progress of putrefaction were observed histologiaclly and compared with those in the VBN level determined chemically. Both fish and dog muscles used in the present investigation were stained red with azan when harvested just after death, yellowish-red in the stage of rigor mortis, and purplish-red about 30 hours after death. Afterwards, the color of muscle became purple to blue with the progress of putrefaction.

The azan method employs three acid dyes, azocarmine B, orange G, and anilin blue. Of these dyes, according to ŌKURA *et al.* (1950), orange G producing an orange tint is of the highest dispersity, anilin blue producing a blue tint is of the lowest, and azocarmine B producing a red tint is of moderate dispersity. In this investigation, it was due to azocarmine B that the control muscle was stained red, to orange G that the specimen in the stage of rigor mortis was stained yellowish-red, and to anilin blue that the specimen in the course of putrefaction was stained gradually from purple to blue.

According to SEKI's theory on "the ultrastructural density of tissue", such changes in stainability with azan are explained as follows: The ultrastructural density of muscle tissue becomes gradually coarse with the progress of putrefaction. The coarser the muscle ultrastructurally, the larger-moleculed dye it may be stainable with. OIYAMA (1950) observed in various tissues that the ultrastructural density of tissue element became coarse with the progress of retrogressive degeneration. Similar findings were reported in detail by SEKI (1951) who dealt with pancreatic cells showing postmortem changes very quickly.

The findings in the present investigation essentially agree with those of the abovementioned authors. They contain, however, some noticeable points. First, the muscle in the stage of rigor mortis had a more yellowish tint than the control specimen harvested just after death. It is assumed that, in that stage, the ultrastructural density of muscle tissue became dense because of narrowing of clefts among molecules or micelles of the tissue by coagulation of protein particles. Consequently, muscle fibers are stain-

able only with a small-moleculed dye such as orange G. Secondly, the muscle was stained purple after the lysis of rigor mortis. This is probably because the ultrastructural density became coarse at this time. Thirdly, there was a remarkable change in stained color at the early stage of putrefaction when the amount of VBN was about 30 mg. It is considered that the ultrastructural density of muscle tissue suddenly coarse at this period. It is noted that changes in color by azan staining, or more precisely, changes in the ultrastructural density of muscle tissue were related to the degree of putrefaction as measured chemically.

As mentioned above, there were some differences in the change of stained color between fish and dog muscle. HANDA (1950) and KAWAMURA (1952) stated that the ultrastructural density of muscle tissue varied with species, age, and region of the body of an animal. It is well known that water-soluble protein is more abundant in fish than in mammalian meat. A rapid, distinct change of the color of fish muscle is probably due to such differences in chemical composition of muscle.

(IV) SUMMARY

Changes in color of muscle stained with azan in the course of putrefaction were examined histologically, from the viewpoint of ultrastructural density, and compared with the amount of volatile basic nitrogen (VBN) of muscle measured chemically by Conway's method.

The results obtained are summarized as follows:

1. The color of muscle as stained with azan was red just after death when no rigor mortis appeared, and gradually became purplish-red, purple, purplish-blue, and finally blue in accordance with the degree of putrefaction of muscle. Such changes in color were not due to those of pH value but to a gradual change of the ultrastructural density of muscle tissue with the progress of decomposition of meat, which allows a large-moleculed dye to invade into the tissue.

2. During the period of rigor mortis, any changes could not be demonstrated in the histological picture and the amount of VBN of muscle. However, the color of muscle stained with azan at this period had a more yellowish tint than that of the control muscle harvested just after death. It is considered that the ultrastructural density of muscle tissue became dense in this stage.

3. In the period when the VBN level reached about 30mg/100 g and which was regarded as an early stage of putrefaction, muscle was stained purplish-red with a purplish tone. It is assumed that the ultrastructural density of muscle tissue became coarse in this stage.

4. The muscle with a VBN level of about 100mg/100 g and showing remarkable morphological changes was stained purple. The ultrastructural density of muscle tissue in this stage seems to have become coarser.

5. The putrid muscle with a VBN level of more than about 250mg/100g was stained bluish-purple or blue.

6. There was a slight difference between fish and mammalian muscle in the change

of staining color by azan with the progress of putrefaction. In general, fish muscle showed a more rapid and distinct change in color than mammalian muscle when stained.

From these results, it may be said that the azan staining method is available, to some extent, for histological estimation of the freshness of meat.

Acknowledgment. The author wishes to thank Prof. Y. TSUJI of the Hiroshima University, Laboratory of Veterinary Science, to which he belongs, for helpful encouragement given to this work.

(V) REFERENCES

HANDA, M. 1950. Veränderungen des Baues und der Strukturdichte der Fasern der Skelettmuskeln des Kaninchens während der Entwicklung. Arch. hist. jap., **1**: 49–55 (Japanese with German summary).

ITIKAWA, O. 1949. Pathology on putrefaction. Shokuhin Eisei, **1**: 105–110 (Japanese).

KAWAMURA, H. 1952. Histo- und ultrastruktometrische Untersuchungen über die Froschmuskeln. Arch. hist. jap., **3**: 279–287.

KIZUKA, S. & NAKANO, K. 1955. Studies on the degeneration of meat. II. On the histochemical inspection of meat. Bull. Fac. Agr. Yamaguti Univ., **6**: 107–114 (Japanese with English summary).

MÖLLENDORFF, W. u. M. v. 1924. Untersuchungen zur Theorie der Färbung fixierter Präparate. III. Durchtränkungs- und Niederschlagsfärbung als Haupterscheinungen bei der histologischen Färbung. Erg. Anat., **25**: 1–66.

OIYAMA, M. 1950. Veränderungen der submikroskopischen Strukturdichte von nekrotischen Zellen. Arch. hist. jap., **1**: 45–48 (Japanese with German summary).

ŌKURA, T. & KŌYAMA, Y. 1950. Elektronenmikroskopie von Farbstoffen, die zur Messung der Strukturdichte der Gewebsteile verwandt werden. Arch. hist. jap., **1**: 379–382 (Japanese with German summary).

SEKI, M. 1936. Zur physikalischen Chemie der histologischen Färbung. XI. Anwendung der Molybdän- und Wolframverbindungen. Z. Zellforsch. **24**: 186–203.

——— 1951. Postmortale Veränderungen der Pankreaszellen; eine Methode zur Todeszeitbestimmung. Arch. hist. jap., **2**: 1–10 (Japanese with German summary).

——— 1954. Histological inspection method and physical chemistry. P. 118–121, Tokyo: Kyorinshoin.

広島大学水畜産学部教官業績目録

（昭和24年4月——昭和33年12月）
（広島大学水畜産学部紀要に掲載されたものは除く）

List of Papers by the Staff of the Faculty of Fisheries and Animal Husbandry, Hiroshima University, Published during April, 1949 to December, 1958.

(Those papers published in the Journal of the Faculty of Fisheries and Animal Husbandry, Hiroshima University, are excluded)

水産学科 Department of Fisheries

浅川末三. 1956. 冷蔵エビの黒変について. 冷凍, **31** : 982-986. (ASAKAWA, Suezō. 1956. The effect of washing on the blackening of cold stored shrimp. The Refrigeration, **31** : 982-986.)

浅川末三. 1957. 魚の死後電気抵抗変化における一考察（予報). 日本水産学会誌, **22**:718-720. (ASAKAWA, S. 1957. A consideration on the post-mortem change of electric resistance of fish muscle (preliminary report). Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., **22** : 718-720.)

浅川末三. 1957. 揮発酸の溜出比による鮮度判定法の研究—VIII. 揮発酸の魚肉中における形態について. 日本水産学会誌, **23** : 463-466. (ASAKAWA, S. 1957. Studies on freshness determination of fish meat by the distillation ratio of volatile acids—VIII. On the form of volatile acids in fish meat. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., **23** : 463-466.)

浅川末三. 1958. 塩蔵魚の食塩浸透に及ぼす抗酸化剤の影響について（第1報). 日本塩学会誌, **12**:308-311. (ASAKAWA, S. 1958. On the influence of antioxidants on salt penetration into fish meat (Part 1). Bull. Soc. Salt Sci., Japan, **12** : 308-311.)

江草周三. 1949. 浮游珪藻の大きさの変化とその生態学的意義に関する若干の考察. 日本水産学会誌, **15**:332-336. (EGUSA, Syūzō. Size variations in planktonic diatoms and some considerations of their ecological significance. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. **15** : 332-336.)

江草周三. 1950. マボラの後期稚魚期に於ける食性に関する二三. 日水誌, **15** : 715-720. (EGUSA, S. 1950. Some notes on the feeding habit of the young of *Mugil cephalus*. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. **15**: 715-720.)

江草周三. 1952. 懸濁相の沈澱に及ぼす水族の影響について. 科学, **22** : 365-366. (EGUSA, S. 1952. Effects of aquatic animals on the precipitation of suspended solid. Kagaku, **22** : 365-366.)

江草周三. 1953. 浮游珪藻の細胞の大きさの季節変化について. 科学, **23** : 142. (EGUSA, S. 1953. Seasonal changes in the size of plankton diatoms. Kagaku, **23** : 142.)

松江吉行・江草周三・佐伯有常. 1953. 湧水の溶存窒素ガス含有量. 日水誌, **19** : 439-444. (MATSUE, Yoshiyuki, EGUSA, S. & SAIKI, Aritsune. 1953. On nitrogen-gas contents dissolved in flowing water of artesian wells and springs. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. **19** : 439-444.)

江草周三. 1953. 蛙のガス病. 科学, **23** : 477. (EGUSA, S. 1953. Gas-disease of the frog. Kagaku, **23**: 477.)

江草周三. 1953. 魚類のガス病発生因としての水中溶存酸素量. 科学, **24** : 262-263. (EGUSA, S. 1954. Supersaturated oxygen in the medium water as a cause of the gas disease of fish. Kagaku, **24** : 262-263.)

EGUSA, S. 1954. Morbidity of the frog due to the oversaturated air in the medium water. Proc. Japan Academy, **30** : 232-235.

江草周三. 1957. 浮游珪藻 *Rhizosolenia setigera* の大きさの季節変化. 水産学集成: 393–405. (EGUSA, S. 1957. Seasonal changes in the size of a plankton diatom *Rhizosolenia setigera*. Suisangaku-Shūsei (Tokyo Univ. Press): 393–405.)

江草周三・大家正太郎. 1957. 室内水槽におけるシラスウナギの飼育. 水産増殖, **5**: 12–18. (EGUSA, S. & OHYA, Shōtarō. 1957. The culture of the eel, *Anguilla japonica*, in the laboratory. Aquiculture, **5**: 12–18.)

榎並 仁. 1950. アカテガニ *Sesarma haematocheir* の幼若者に於ける黒色素胞の働作機構. II. 神経組織性物質に拮抗する肝膵臓成分. 生理生態, **4** (1•2) : 1—6. (ENAMI, M. 1950. Studies on the controlling mechanism of black chromatophores in the young of a fresh-water crab, *Sesarma haematocheir*. II. Hepato-pancreatic principle antagonizing the chromatophorotropic principle from ganglionic tissues.) Physiology and Ecology, **4** (1•2): 1–6.)

榎並 仁. 1951. 硬骨魚類と甲殻類の色素細胞の調節機構 (綜説). 実験形態学, 第7輯, p. 1〜22. (ENAMI, M., 1951. Mechanism of control of the chromatophore responses in Teleosts and Crustaceans (A Review). Experimental Morphology, **7**: 1–22.)

ENAMI, Masashi. 1951. The sources and activities of two chromatophorotropic hormones in crabs of the genus *Sesarma*. I. Experimental analyses. Biol. Bull., **100** (1): 28–43.

ENAMI, M. 1951. The sources and activities of two chromatophorotropic hormones in crabs of the genus *Sesarma*. II. Histology of incretory elements. Biol. Bull., **101** (3): 241–258.

ENAMI, M. 1954. The functional significance of beta-neurosecretory cells in *Sesarma*. Pubbl. Staz. Zool. Napoli, **24** : Suppl. 70–71.

富士川 澪・三宅正人. 1954. 煉製品の機械的性質に就て. 日本水産学会誌, **19**: 1077–1082, pls. 1–6. (FUJIKAWA, Kiyoshi and MIYAKE, Masato. 1954. Mechanical properties of fish jellies (Renseihin). Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., **19** : 1077–1082, pls. 1–6.)

須藤俊造・藤山虎也. 1952. アサクサノリの生活史に就いて. 特に秋に立込んだヒビに最初に着く胞子の性質. 第2報. 日本水産学会誌, **17** : 1–6. (SUTO, Shunzô and FUJIYAMA, Toraya. 1952. On the life-history of *Porphyra tenera*. II. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., **17** : 1–6.)

藤山虎也. 1955. 塩田に棲息する藻類の研究. 日本塩学会誌, **9** : 285–290. (FUJIYAMA, T. 1955. Studies on the ecology of the algae growing on the sloping salt-field. Bull. Soc. Salt Sci., Japan, **9**: 285–290.)

新崎盛敏・藤山虎也・斎藤雄之助. 1956. アサクサノリ胞子の付着と海況について—II. 日本水産学会誌, **22** : 167–171. (ARASAKI, Seibin, FUJIYAMA, T. and SAITO, Yûnosuke. 1956. On the relation between the appearance of spores of the laver (*Porphyra tenera*) and the environmental conditions. II. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., **22** : 167–171.)

藤山虎也・甲 充. 1956. 流下式塩田に生育する藻類の生態と駆除に関する研究(第1報). 藻類の種類, 生態, 及び駆除の基礎研究. 日本塩学会誌, **10** : 105–117, pls. 1–2. (FUJIYAMA, T. and KABUTO, Mitsuru. 1956. Studies on the ecology and weeding of the algae growing on the sloping salt-field. (Part 1). Species, their ecology and fundamental researches on weeding of the algae. Bull. Soc. Salt Sci., Japan, **10** : 105–117, pls. 1–2.)

藤山虎也. 1957. アサクサノリ癌腫病の細胞化学的研究. 水産学集成(東京大学出版会) : 829–840, pls. 1–4. (FUJIYAMA, T. 1957. Cytochemical studies on the crown-gall tissues of the laver (*Porphyra tenera* KJELLM.). Suisangaku-Shūsei (Tokyo University Press) : 829–840, pls. 1–4.)

藤山虎也. 1957. 塩田に棲息する有害植物の研究. 日本塩学会誌, **11** : 156–158. (FUJIYAMA, T. 1957. Studies on the weeding of the algae growing on the sloping salt-field. Bull. Soc. Salt Sci., Japan, **11**: 156–158.)

藤山虎也. 1957. ノリの癌腫病. 水産増殖, **4** (4) : 69–73, pl. 1. (FUJIYAMA, T. 1957. On the crown-gall tissues of the laver (*Porphyra tenera* KJELLM.). Aquiculture, **4** (4) : 69–73, pl. 1.)

片山輝久・藤山虎也. 1957. 海藻類の核酸に関する研究. 特にアサクサノリの癌腫病に於ける DNA 含量の特異性について. 日本産水学会誌, **23** : 249–254. (KATAYAMA, Teruhisa and FUJIYAMA, T. 1957. Studies on the nucleic acid of algae with special reference to the desoxyribonucleic acid contents of the crown-gall tissues developed on *Porphyra tenera* KJELLM.

Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., **23** : 249–254.)

ISHIKAWA, Yasutarō. 1956. A characteristic property of whale oils concerning the absorption of gases. I. On the absorption of carbon dioxide by whale oils. Sci. Rep. Whales Research Inst., No. 11: 191–213.

ISHIKAWA, Y. 1958. A characteristic property of whale oils concerning the absorption of gases. II. On the absorption of nitrogen by whale oils. Ibid., No. 13: 309–321.

伊藤啓二. 1957. 水産動物筋肉エキスのアミノ酸組成—I. 日水誌, **23** : 497～500. (ITO, Keiji. 1957. Amino acid composition of the muscle extracts of aquatic animals. —I. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., **23** : 497–500 (Japanese with English résumé).)

片山輝久. 1953. 海藻の揮発成分に関する化学的研究—II. アナアオサ *Ulva pertusa* KJELLM. の揮発性脂肪酸について. 日本水産学会誌, **19** : 793–797. (KATAYAMA, Teruhisa. 1953. Chemical studies on volatile constituents of sea-weed -II. On voatile acids of *Ulva pertusa* KJELLM. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., **19**:793–797 (Japanese with English résumé).)

片山輝久. 1955. 海藻の揮発成分に関する化学的研究-III. アナアオサ *Ulva pertusa* KJELLM. の揮発成分中のテルペン系化合物について. 日本水産学会誌, **21** : 412–415. (KATAYAMA, T. 1955. Chemical studies on volatile constituents of sea-weed-III. On the terpenes of volatile constituents of *Ulva pertusa* KJELLM. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., **21**:412–415 (Japanese with English résumé).)

片山輝久. 1955. 海藻の揮発成分に関する化学的研究-IV. アナアオサ *Ulva pertusa* KJELLM. の揮発成分中のカーボニル化合物について. 日本水産学会誌, **21** : 416–419. (KATAYAMA, T. 1955. Chemical studies on volatile constituents of sea-weed-IV. On the carbonyl compounds of volatile constituents of *Ulva pertusa* KJELLM. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., **21**: 416–419 (Japanese with English résumé).)

片山輝久. 1955. 海藻の揮発成分に関する化学的研究—V. アオノリ *Enteromorpha* sp. の揮発成分について. 日本水産学会誌, **21** : 420–424. (KATAYAMA, T. 1955. Chemical studies on volatile constituents of sea-weed-V. On volatile constituents of *Enteromorpha* sp. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., **21** : 420–424 (Japanese with English résumé).)

片山輝久. 1955. 海藻の揮発成分に関する化学的研究-VI. ウミトラノオ *Sargassum* sp. の揮発成分について. 日本水産学会誌, **21** : 425–428. (KATAYAMA, T. 1955. Chemical studies on volatile constituents of sea-weed-VI. On volatile constituents of *Sargassum* sp. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., **21** : 425–428 (Japanese with English résumé).)

片山輝久. 1956. 海藻の揮発成分に関する化学的研究-VII. アサクサノリ *Porphyra tenera* KJELLM. の揮発成分について. 日本水産学会誌, **22** : 244–247. (KATAYAMA, T. 1956. Chemical studies on volatile constituents of sea-weed-VII. Flavour and other characteristics of *Porphyra tenera* KELLM. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., **22** : 244–247 (Japanese with English resume).)

片山輝久. 1956. 海藻の揮発成分に関する化学的研究—X. 海藻の揮発成分の抗菌性について. 日本水産学会誌, **22**:248–350. (KATAYAMA, T. 1956. Chemical studies on volatile constituents of sea-weed-X. Antibacterial action of volatile compounds of sea-weed. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., **22** : 248–250 (Japanese with English résumé).)

片山輝久. 1956. 海藻の揮発成分に関する化学的研究—XI. 海藻の揮発成分のイトミミズ殺虫力. 日本水産学会誌, **22** : 251–252. (KATAYAMA, T. 1956. Chemical studies on volatile constituents of sea-weed—XI. Anthelmintic action of volatile compounds of sea-weed. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., **22**: 251–252 (Japanese with English résumé).)

片山輝久. 1956. 海藻の揮発成分に関する化学的研究-XII. 海藻の揮発成分の薬理作用について. 日本水産学会誌, **22** : 253–256. (KATAYAMA, T. 1956. Chemical studies on volatile constituents of sea-weed-XII. Pharmacological activity of volatile compounds of sea-weed. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., **22**: 253–256 (Japanese with English résumé).)

片山輝久・藤山虎也. 1957. 海藻類の核酸に関する研究. 特にアサクサノリの癌腫病に於けるDNA含量に特異性について. 日本水産学会誌, **23** : 249–254. (KATAYAMA, T. & FUJIYAMA, Toraya. 1957. Studies on the nucleic acid of algae with special reference to the desoxyribonucleic

acid contents of the crown-gall tissues developed on *Porphyra tenera* KJELLM. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., **23** : 249-254 (Japanese with English résumé).)

片山輝久. 1958. 海藻の揮発成分に関する化学的研究. 海人草 *Digenia simplex* の揮発成分について. 日本水産学会誌, **24** : 205-208. (KATAYAMA, T. 1958. Chemical studies on volatile constituents of sea-weed. On volatile constituents of *Digenia simplex*. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., **24**: 205-208 (Japanese with English résumé).)

KATAYAMA, T. 1958. Chemical studies on volatile constituents of sea-weed-XIII. On volatile constituents of *Laminaria* sp. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., **24** : 346-354.

KATAYAMA, T. 1958. Chemical significance of the volatile components of spices in the food preservative viewpoint-I. On the volatile component of *Xanthoxylum piperitum*. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., **24** : 511-514.

日下部台次郎. 1953. 稚魚の採集と染色の一新法. 日本水産学会誌, **19** : 382-383, figs. 1-2. (KUSAKABE, Daizirō. 1953. On the collection and staining of young-fish. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., **19** (4) : 382-383, figs. 1-2.)

日下部台次郎. 1954. モガイとその養殖. 水産増殖叢書, No. 6: 1-75, figs. 1-27. (KUSAKABE, D. 1954. The blood clam "Mogai" and its culture. Aquiculture Science Series, No. 6: 1-75, figs. 1-27.)

日下部台次郎・伏木省三・藤田富宏. 1959. 工場温廃水の養鰻への利用. 水産増殖, **6** (4) : 57-60, figs. 1-2. (KUSAKABE, D., FUSHIKI, S. & FUJITA, M. 1959. On the eel culture by industrial water. The Aquiculture, **6** (4) : 57-60, figs. 1-2.)

松本文夫. 1957. 海水魚の呼吸作用と低水温との関係. 水産学集成, pp. 675-700, 9 表, 13図. (MATSUMOTO, Fumio. 1957. Studies on the respiration of marine fishes at low temperature. Suisangaku-Shūsei (Tokyo University Press) : 675-700, 9 tables, 13 figs.)

村地四郎・古川哲三. 1958. サルボウ（モガイ）の稀釈海水に対する抵抗性について. 水産増殖, **9** (2): 35-40. (MURACHI, Shirō & FURUKAWA, Tetsuzō. 1958. Toleration of an ark shell, *Anadara subcrenata* LISCHKE, to low salinity. The Aquiculture, **6** (2):35-40.)

村上 豊. 1957. 養魚池におけるミジンコの「タネ」としての冬卵に関する考察. 水産学集成, pp. 51-58. (東京大学出版会) (MURAKAMI, Y. 1957. Observations and experiments on the winter eggs of the water flea, *Moina macrocopa* STRAUS. Suisangaku-Shūsei (Tokyo Univ. Press), pp. 51-58)

大家正太郎. 1956. 浅海底に接する海水に性状について. 水産増殖, **3** (3) : 34-39, pls. 1-4. (OHYA, Shōtarō. 1956. Characteristic of the water layer adjacent to the bottom of the shallow sea. The Aquiculture, **3** (3) : 34-39. pls. 1-4.)

江草周三・大家正太郎. 1957. 江草周三を参照.

TAKESITA, Isao. 1955. Determination of the lattice constant, etc. with the X-ray diffraction patterns produced by divergent X-rays. J. Sci. Hiroshima Univ. Ser. A, **19** : 413-427.

TAKI, Iwao. 1953. On two new species of fishes from the Inland Sea of Japan. J. Sci. Hiroshima Univ., Ser.B, Div.1, **14** : 201-210, pl. 1.

TAKI, I. & HABE, Tadashige. 1955. Gastrochaenidae in Japan. Illustrated Catalogue Jap. Shells (KURODA, T. ed.), **2** : 1-6.

TAKI, I. & HABE, T. 1955. Pholadidae in Japan. Ibid., **2** : 7-15.

滝 巌・波部忠重. 1958. 日本産ニオガイ超科の分類. 岡田要編. 木船木材蝕害とその防除, 43-66, pls. 1-4. 日本学術振興会刊. (TAKI, I. & HABE, T. 1958. Classification of Pholadacea of Japan. OKADA, Y. K. (ed.). Destructive injury to the timber of wooden vessels and its prevention, 43-66, pls. 1-4.)

畜産学科 Department of Animal Husbandry

穴釜雄三. 1953. 牛乳及び乳製品のビタミンCに関する研究.(第13報)牛乳のビタミンC含量に及ぼす泌乳期の影響について. 日畜会報, **24** : 71-72. (ANAGAMA, Yūzō. 1953. Studies on the vitamin C in milk and its products. XIII. Influence of the stage of lactation on the vitamin C content of cow's milk. Jap. J. Zootech. Sci., **24** : 71-72 (Japanese with English résumé).)

穴釜雄三. 1955. 牛乳及び乳製品のビタミンCに関する研究.(第14報)牛乳のビタミンC含量に及ぼす季節の影響について. 日畜会報, **26** : 21-22. (ANAGAMA, Y. 1955. Studies on the vitamin C in milk and its products. XIV. Seasonal variation in the vitamin C content of cow's milk. Jap. J. Zootech. Sci., **26** : 21-22 (Japanese with English résumé).)

穴釜雄三. 1956. 牛乳のビタミン(綜説). 畜産の研究, **10** : 363-366 ; 474-476. (ANAGAMA, Y. 1956. Vitamins in cow's milk : A review. Animal Husbandry, **10** : 363-366 ; 474-476 (Japanese).)

穴釜雄三. 1956. 牛乳の風味(綜説). 畜産の研究, **10** : 1017-1020 ; 1130-1134. (ANAGAMA, Y. 1956. Flavors of cow's milk.: A review. Animal Husbandry, **10** : 1017-1020 ; 1130-1134 (Japanese).)

朝日田康司・三村耕. 1958. 仔めん羊の体温調節機能—特に環境温度の連続的急変に対して. 日畜会報, **29** : 117-121. (ASAHIDA, Yasushi & MIMURA, Kō. 1958. Body temperature regulating capacity of the Lamb—with special reference to continuously and suddenly changing conditions of environmental temperature. Jap. J. Zootech. Sci. **29** (2) : 117-121 (Japanese with English résumé).)

朝日田康司・三村耕. 1959. 着色羊毛の成因に関する研究. 1. 着色羊毛の汚毛成分量について. 日畜会報, **30** : 33-36. (ASAHIDA, Y. & MIMURA, K. 1959. Studies on the cause of canary wool in Japanese Corriedale sheep. 1. Composition of canary wool. Jap. J. Zootech. Sci. **30**: 33-36 (Japanese with English résumé).)

藤井俊策. 1955. 非水液での固定による鶏卵白と睾丸組織の超構密度の変化. 日組録, **8** : 87-98. (FUJII, Shunsaku. 1955. Veränderungen der Ultrastrukturdichte des Hühnereiweisses und Hodengewebes durch die Fixierung mit nichtwässerigen Flüssigkeiten. Arch. hist. jap., **8**:87-98 (Jap. mit dtsh. Zfass.).)

FUJII, Sh. 1955. Veränderungen der sublichtmikroskopischen Strukturdichte von Gewebselementen durch mazerierende Isolationsflüssigkeiten. Arch. hist. jap., **8** : 271-280.

FUJII, Sh. 1956. Methode zur sehr elektiven und sehr distinkten Darstellung der Mitochondrien durch Versilberung. Arch. hist. jap., **11** : 303-316.

FUJII, Sh. 1956. Über die Veränderungen der Ultrastrukturdichte der Spermien während ihrer Reifung. Arch. hist. jap., **11** : 361-370.

FUJII, Sh. 1957. Beobachtung der Mitochondrien in den normalen und gereizten Bindegewebszellen des Unterhautgewebes der Maus nach einer Versilberungsmethode. Arch. hist. jap., **11**:527-534.

池田 実. 1953. 静狩原野の泥炭について. 日本土壌肥料学雑誌, **24** : 138-140, pls. 1-9. (IKEDA, Minoru. 1953. On the peat soils of Shizukari field in Hokkaido. J. Sci. Soil & Manure, Japan, **24** : 138-140, pls. 1-9 (Japanese with English résumé).)

池田 実. 1953. 土壌改良剤クリリウムに関する研究. 第1報. 農業及園芸, **28** : 313-314. (IKEDA, M. 1953. Studies on soil conditioner "Krillium". Part 1. Agriculture & Horticulture, **28** : 313-314. (Japanese with English résumé).)

池田 実・原田 勇. 1953. 土壌改良剤クリリウムに関する研究. 第2報. 土壌水分と置換容量. 日本土壌肥料学雑誌, **24** : 235-238. (IKEDA, M. & HARADA, Isamu., 1953. Studies on soil conditioner "Krillium". Part 2. Influence of "Krillium" upon soil water and base exchange capacity. J. Sci. Soil & Manure, Japan, **24** : 235-238 (Japanese with English résumé).)

池田 実・原田 勇. 1954. 土壌改良剤クリリウムに関する研究. 第3報. 孔隙量と団粒形成. 日本土壌肥料学雑誌, **25** : 58-60. (IKEDA, M. & HARADA, I. 1954. Studies on soil conditioner "Krillium". Part 3. Influence of "Krillium" upon soil pores and granulation. J. Sci. Soil & Manure, Japan, **25** : 58-60 (Japanese with English résumé).)

池田　実・原田　勇. 1954. 土壌改良剤クリリウムに関する研究. 第4報. 日本土壌肥料学雑誌, **25**: 303–304. (IKEDA, M. & HARADA, I. 1954. Studies on soil conditioner "Krillium". Part 4. J. Sci. Soil & Manure, Japan, **25**: 303–304 (Japanese with English résumé).)

池田　実・原田　勇. 1954. 田畑輪換土壌に関する研究. 第1報. 各種土壌断面の特性と二三の性質について. 日本土壌肥料学雑誌, **25**: 227–231, pls. 1–8. (IKEDA, M. & HARADA, I. 1954. Studies on soils in the transferring cultivation of paddy and upland field. Part 1. Profiles and some properties of soils. J. Sci. Soil & Manure, Japan, 25: 227–231, pls. 1–8 (Japanese with English résumé).)

池田実・原田勇・田村香居. 1956. 田畑輪換土壌に関する研究. 第2報. 土壌構造に関する二三の性質と窒素の検討. 日本土壌肥料学雑誌, **26**: 395–398. (IKEDA, M. HARADA, I. & TAMURA, Kaoru. 1956. Studies on soils in the transferring cultivation on paddy and upland field. Part 2. Properties concerning with soil structure and nitrogen. J. Sci. Soil & Manure, Japan, **26**: 396–398 (Japanese with English résumé).)

池田実・原田勇・田村香居. 1956. 田畑輪換土壌に関する研究. 第3報. 構造について. 日本土壌肥料学雑誌, **27**: 361–364, pl. 1–1. (IKEDA, M., HARADA, I. & TAMURA, K. 1956. Studies on soils in the transferring cultivation of paddy and upland field. Part 3. On soil structure. J. Sci. Soil & Manure, Japan, **27**: 361–364, pl. 1–1 (Japanese with English résumé).)

IKEDA, M. 1955. Studies on soils in the transferring cultivation of paddy and upland field. Soil and Plant Food, **1**: 94–98.

池田実・原田勇・田村香居. 1956. 土壌三相に関する研究. 第1報. 土壌三相の時期的変化. 日本土壌肥料学雑誌, **26**: 502–504, pls. 1–3. (IKEDA, M. HARADA, I. & TAMURA, K. 1956. Studies on three phases of soil. Part 1. Seasonal variation of three phases of soil. J. Sci. Soil & Manure, Japan, **26**: 502–504, pls. 1–3 (Japanese with English résumé).)

池田実・原田勇・田村香居. 1956. 土壌三相に関する研究. 第2報. 作物の生育と土壌三相との関係. 日本土壌肥料学雑誌, **27**: 27–29, pl. 1–1. (IKEDA, M., HARADA I, T. & TAMURA, K. 1956. Studies on three phases of soil. Part 2. Relation between crop growth and three phases of soil. J. Sci. Soil & Manure, Japan, **27**: 27–29, pl. 1–1 (Japanese with English résumé).)

池田実・原田勇・田村香居. 1958. 土壌三相に関する研究. 第3報. 土壌三相の層序別変化と化学成分. 日本土壌肥料学雑誌, **28**: 387–391, pls. 1–3. (IKEDA, M., HARADA, I. & TAMURA, K. 1958. Studies on three phases of soil. Part 3. Relation between chemical properties and three phases in several horizons of soils. J. Sci. Soil & Manure, Japan, **28**: 387–391, pls. 1–3 (Japanese with English résumé).)

池田実・原田勇・田村香居. 1958. 土壌三相に関する研究. 第4報. 土壌三相の層序別変化と作物生育. 日本土壌肥料学雑誌, **29**: 84–86, pl. 1–1. (IKEDA, M., HARADA, I. & TAMURA, K. 1958. Studies on three phases of soil. Part 4. Three phases of soil horizons and plant growth. J. Sci. Soil & Manure, Japan, **29**: 84–86, pl. 1–1 (Japanese with English résumé).)

池田実・原田勇・田村香居. 1957. 輪作の土壌学的研究. 第1報. 土壌三層と無機態窒素の消長. 日本土壌肥料学雑誌, **28**: 235–238, pl. 1–1. (IKEDA, M., HARADA, I. & TAMURA, K. 1957. Studies of soils on crop rotation. Part 1. Seasonal variation of three phases and mineral nitrogen of soil. J. Sci. & Manure, Japan, **28**: 235–238, pl. 1–1 (Japanese with English résumé).)

池田実・原田勇・田村香居. 1958. 輪作の土壌学的的究. 第2報. 土壌微生物の活性に及ぼす外的条件について. 日本土壌肥料学雑誌, **29**: 349–353. (IKEDA, M., HARADA, I. & TAMURA, K. 1958. Studies of soils on crop rotation. Part 2. Conditions effecting the activity of soil microorganisms. J. Sci. Soil & Manure, Japan, **29**: 349–353 (Japanese with English résumé).)

柏原孝夫. 1950. 遺伝生理学の動向. 畜産の研究, **4**: 197–200; 325–328. (KASHIWABARA, Takao. 1950. Modern trends in genetics physiology. Animal Husbandry, **4**: 197–200; 325–328 (Japanese).)

柏原孝夫. 1950–51. 精液学の諸問題. 畜産の研究, **4**: 725–730; **5**: 13–17; 84–86. (KASHIWABARA, T. 1950–51. Some problems in spermatology. Animal Husbandry, **4**: 725–730; **5**: 13–17;

84–86 (Japanese).)

柏原孝夫・国崎 格. 1953. カルシウム栄養剤によるマウスの繁殖成績. 日獣医会誌, **6**; 178–181. (KASHIWABARA, T. & KUNISAKI, Hakaru. 1953. Reproduction of mice nourished with calcium. J. Jap. Vet. Med. Ass. **6** : 178–181 (Japanese).)

柏原孝夫. 1953. 鶏の化学的去勢について. 畜産の研究, **7** : 459–460. (KASHIWABARA, T. 1953. Chemical castration of chick. Animal Husbandry, **7** : 459–460 (Japanese).)

柏原孝夫・近藤恭司. 1954. マウスの精子発生に及ぼすX線の影響. 日畜会報, **24** : 184–186; **25** : 14–24. (KASHIWABARA, T. & KONDO, Kyōzi. 1954. The effect of X-ray irradiation on the spermatogenesis of the mouse. Jap. J. Zootech. Sci., **24** : 184–186; **25** : 14–24 (Japanese with English résumé).)

小野茂樹. 1951. 最近における預托牛慣行について. 畜産の研究, **5** : 535–537. (ONO, Shigeki. 1951. On the cattle tenancy in recent years. Animal Husbandry. **5** : 535–537 (Japanese).)

小野茂樹. 1952. 組合活動による役肉用牛の取引. 畜産の研究, **6** : 945–948. (ONO, S. 1952. Cooperative marketing of Japanese Native Cattle. Animal Husbandry, **6** : 945–948 (Japanese)).

小野茂樹. 1952. わが国畜産の発達を阻害するもの. 畜産の研究, **6** : 439–442. (ONO, S. 1952. Several factors limiting the development of animal husbandry in Japan. Animal Husbandry, **6**: 439–442. (Japanese).)

小野茂樹. 1953. 家畜取引をめぐる商人の生態. 畜産の研究, **7** : 343–346. (ONO, S. 1953. Dealers in the livestock marketing. Animal Husbandry, **7** : 343–346 (Japanese)).

小野茂樹. 1953. 中国地方における牛小作慣行について. 中国地方調査所報告, 23–28. (ONO, S. 1953. On the cattle tenancy in Chūgoku Province. Report of Chūgoku Investigative Station, 1953: 23–28 (Japanese).)

小野茂樹. 1955. 牛価の下落について. 農業と経済, **21** (8) : 10–16. (ONO, S. 1955. On the decline in cattle prices. Nōgyo to Keizai, **21** (8) : 10–16 (Japanese).)

小野茂樹. 1955. 家畜市場における本人セリの問題. 農業と経済, **21** (8) : 15–20. (ONO, S. 1955. By bidding in the livestock auction. Nōgyō to Keizai, **21** (8) : 15–20 (Japanese).)

小野茂樹. 1956. 産牛経営の規模について. 農業と経済, **22** (3) : 25–31. (ONO, S. 1956. On the scale of agricultural management in breeding of Japanese Native Cattle. Nōgyō to Keizai, **22** (3): 25–31 (Japanese)

小野茂樹. 1956. 農業技術および生産力の変貌. (近代産業と地域社会—東京大学出版会—のうち) 225–233; 467–474. (ONO, S. 1956. Changes on agricultural technics and productivity. (In "Industrialization and its effects on communities." Tōkyō University Press. 225–233; 467–474.)

小野茂樹. 1956. 和牛の技術的経営的課題について. 農業と経済, **22** (6) : 42–48. (ONO, S. 1956. Technical and economical problems on Japanese Native Cattle. Nōgyō to Keizai, **22** (6) : 42–48 (Japanese).)

渡辺守之. 1954. オロフアックA添加による幼鶩の成長促進効果. 畜産の研究, **8** : 233–234, pl. 1. (WATANABE, Moriyuki. 1954. The effect of aureomycin (Aurofac A) supplement on the growth rate of ducklings. Animal Husbandry, **8** : 233–234, pl. 1. (Japanese).)

渡辺守之・杉森洋一. 1955. 鶩の人工授精に関する研究. 家畜繁殖研究会誌, **1** : 99–100, pls. 1–2. (WATANABE, M. &. SUGIMORI, Y. 1955. Studies on the artificial insemination in the duck. Jap. J. Animal Reprod., **1** : 99–100, pls. 1–2 (Japanese).)

WATANABE, M. 1957. Studies on the artificial insemination in ducks (Studi Sulla Fecondazione Artificiale Nelle Anitre). Zootecnica e Veterinaria, Anno XII : 119–124, pls. 1–6.

渡辺守之. 1958. あひるの人工授精に関する研究. II.精液注入法の改良について. 家畜繁殖研究会誌, **3** : 101–102, pl. 1. (WATANABE, M. 1958. Studies on the artificial insemination in ducks. II. On the improvement of the method of insemination. Jap. J. Animal Reprod., **3**:101–102, pl. 1. (Japanese).)

渡辺守之. 1958. あひるの人工授精に関する研究. III. 電気刺戟による精液採取について. 家畜繁殖研

究会誌，**3** : 103–105. (WATANABE, M. 1958. Studies on the artificial insemination in ducks. III. On the collection of semen by electric stimulation. Jap. J. Animal Reprod., **3** : 103–105 (Japanese).)

渡辺守之. 1958. あひるの人工授精に関する研究 IV. 精液注入部位と授精成績との関係について. 家畜繁殖研究会誌，**3** : 105–107. (WATANABE, M. 1958. Studies on the artificial insemination in ducks. IV. On the relation of fertility and site of insemination. Jap. J. Animal Reprod., **3** : 105–107 (Japanese).)

YAMANE, Jinshin. 1951. Biologischer Nachweis eines dem Spermatozoon innewohnenden proteolytischen Fermentes. "Fortpflanzung und Besamung der Haustiere", 1. Jahrgang, Heft Nr. 4, Sonder- beilage der "Deutschen Tierärztlichen Wochenschrift".

YAMANE, J.. 1952. Biologischer Nachweis eines dem Spermatozoon innewohnenden proteolytischen Fermentes. Zootechnia, 1(2), Madrid.

YAMANE, J. 1953. Bibliography on animal industry of the Philippines (1901–1941). National Research Council of the Philippines, Bulletin No. 36. Quezon City.

山根甚信. 1955. 家畜人工授精の歴史. 遺伝，**9** : 40–43, pls. 1–3. (YAMANE, J. 1955. History of artificial insemination of domestic animals. The Heredity, **9** : 40–43, pls. 1–3. (Japanese).)

YAMANE, J. 1956. The role of testicular hyaluronidase in spermatogenesis and fertilization. Proceedings of the Second World Congress on Fertility and Sterility. **2**:1080～1104. Naples.

YAMANE, J. 1956. The primary significance of testicular hyaluronidase for fertilization in mammals. Proceedings of the III International Congress on Animal Reproduction. Cambridge.

山根甚信. 1957. 精子の保存と家畜の改良. 遺伝，**11** : 22–25, pls. 1–2. (YAMANE, J. 1957. Storage of semen and animal improvement. The Heredity, **11** : 22–25, pls. 1–2 (Japanese).)